

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA



TESIS

APLICACIÓN DE BIOCHAR PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO Y PRODUCCIÓN DE *Raphanus sativus* EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL SECTOR TICAPATA, SAN SEBASTIAN - CUSCO, 2021

PRESENTADO POR:

- Bach. Wendy Jackeline Concha Loayza
- Bach. Milagros Elizabeth Tribeño Cutipa

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL DE
BIÓLOGO**

ASESOR:

Blgo. Percy Yanque Yucra

COASESOR:

Blga. María Luisa Ochoa Cámara

CUSCO - PERÚ

2024

INFORME DE ORIGINALIDAD

(Aprobado por Resolución Nro. CU-303-2020-UNSAAC)

El que suscribe, Asesor del trabajo de investigación/tesis titulada: APLICACIÓN DE BIOCHAR PARA EL MEJORAMIENTO DE SUELO Y PRODUCCIÓN DE RAPHANUS SATIVUS EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL SECTOR TICAPATA, SAN SEBASTIAN-CUSCO, 2021.

presentado por: WENDY JACKELINE CONCHA LOAYZA con DNI Nro.: 44570274 presentado por: MILAGROS ELIZABETH TRIBENÓ CUTIPA con DNI Nro.: 70044490 para optar el título profesional/grado académico de BIÓLOGO

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 2 veces, mediante el Software Antiplagio, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso de Sistema Antiplagio de la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 8 %.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No se considera plagio.	X
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las correcciones.	
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, quien a su vez eleva el informe a la autoridad académica para que tome las acciones correspondientes. Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	

Por tanto, en mi condición de asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto la primera página del reporte del Sistema Antiplagio.

Cusco, 15 de Julio de 2024

Firma

Post firma Percy Yanque Yuora

Nro. de DNI 23827387

ORCID del Asesor 0000-0003-1777-2560

Se adjunta:

1. Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
2. Enlace del Reporte Generado por el Sistema Antiplagio: oid: 27259-365605440

NOMBRE DEL TRABAJO

APLICACIÓN DE BIOCHAR.pdf

AUTOR

Wendy Jackeline Concha

RECUENTO DE PALABRAS

28662 Words

RECUENTO DE CARACTERES

138970 Characters

RECUENTO DE PÁGINAS

142 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

2.7MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 10, 2024 9:01 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 10, 2024 9:04 AM GMT-5

● 8% de similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 8% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 1% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● Excluir del Reporte de Similitud

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, nuestra Alma Mater, Facultad de Ciencias, Escuela Profesional de Biología, por formarnos profesionalmente en sus aulas.

A nuestros asesores Blgo Percy Yanque Yucra y Blga Maria Luisa Ochoa Camara por su valiosa asesoría en el desarrollo de este proyecto, así mismo por sus enseñanzas impartidas, tiempo y dedicación.

A la Dra Isabel Rodriguez, Mgt. Esther Álvarez, Mgt Willian Cardenas, Dra Veronika Isela Vera Marmanillo, Dra Martha Natividad Mostajo Zavaleta, quienes contribuyeron y apoyaron con la investigación, recomendaciones, paciencia, los cuales fueron necesarios para el desarrollo de este trabajo de investigación.

DEDICATORIA

A Dios por darme salud y permitirme culminar este trabajo, a mis padres Leónidas y Epifanía por su amor, paciencia y su gran apoyo, a mi hermana por siempre escucharme y ser mi cómplice, a mi compañero de vida por todo su amor y gran apoyo y de manera especial a mi hijo Amir Gael todo por ti y para ti.

Milagros E. Tribeño Cutipa

Al concluir esta etapa maravillosa de mi vida, quiero agradecer a quienes fueron mi inspiración y fortaleza en todo este tiempo: dios, mi pequeño hijo Ethan y mis padres por su apoyo incondicional durante todo el desarrollo de la tesis.

Wendy J. Concha Loaiza

ÍNDICE

RESUMEN	i
INTRODUCCIÓN	ii
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	iv
JUSTIFICACIÓN	iv
PROBLEMA GENERAL	v
JUSTIFICACION	vi
OBJETIVO	vii
HIPÓTESIS	viii
CAPÍTULO I GENERALIDADES	
1.1 Antecedentes	1
1.2 Base teórica	5
1.2.1 Biochar	5
1.2.1.1. Historia y origen del Biochar	5
1.2.1.2. Procesos para la obtención del Biochar.	7
1.2.1.3 Estructura química del Biochar	12
1.2.1.4. Caracterización del Biochar	13
1.2.1.5 Características físicas y químicas del Biochar.	14
1.2.1.6 Propiedades físicas y químicas del Biochar.	15
1.2.1.7 Propiedades biológicas del Biochar	16
1.2.1.8 Funciones y procesos en el suelo	16
1.2.1.9 Mejoras en el suelo agrícola	17
1.2.1.10 Biochar como enmienda de suelos contaminados	18
1.2.1.11 Secuestro de carbono y cambio climático	19
1.2.1.12 Métodos de aplicación al suelo	20
1.2.1.13 Potencial del Biochar	21
1.2.1.14 Biochar en comparación al compost	21
1.2.1.15 Sostenibilidad y ambiente	22
1.2.2 Sustancias Humicas	23
1.2.2.1 Ácidos Húmicos	23
1.2.2.2 Ácidos fulvicos	24
1.2.2.3 Ácidos Fulvicos, húmicos en el biochar y su impacto en el suelo y la planta.	24
Materia Prima	25
1.2.3 <i>Raphanus sativus</i> L.	31
1.2.3.1 Origen	31
1.2.3.2 Clasificación taxonómica.	31

1.2.3.3. Descripción botánica.	31
1.2.3.4. Partes de <i>Raphanus sativus</i> L.	33
1.2.3.5 Tipos y variedades.	34
1.2.3.6 Características agronómicas de la variedad Champion	35
1.2.3.7 Requerimientos ecológicos	36
1.2.3.8 Plagas y enfermedades	38
1.2.3.9 Fisiopatías	39
1.2.3.10 Manejo del cultivo	39
1.2.3.11 Composición nutricional	41
CAPÍTULO II MATERIALES Y MÉTODOS	
2.1 Área de Estudio	42
2.1.1 Accesibilidad	42
2.2 Materiales	44
2.2.1 Material biológico	44
2.2.2. Equipos de campo	44
2.2.3 Equipos de laboratorio y gabinete	45
2.3 Metodología	45
2.3.1 Tipo de Investigación	45
2.3.2 Diseño de investigación	45
2.3.3 Determinación de las características físicas y químicas del Biochar	46
2.3.4 Determinación de las características físicas y químicas del suelo antes y después del Biochar.	50
2.3.5 Determinacion de la producción de <i>Raphanus sativus</i> L. después de la aplicación del Biochar al suelo	53
2.3.6 Determinación de la proporción adecuada de Biochar que se debe adicionar en el suelo agrícola para mejorar la producción de <i>Raphanus sativus</i> L.	60
CAPÍTULO III RESULTADOS Y DISCUSIONES	
3.1. Características físicas y químicas del Biochar	62
3.2 Características físicas y químicas del suelo antes y después de la aplicación de Biochar	63
3.2.1 Análisis físico y químico del suelo agrícola previo de la aplicación del Biochar	64
3.2.2 Análisis físico y químico del suelo agrícola después de la aplicación del Biochar	66
3.3. Producción de <i>Raphanus sativus</i> L, después de la aplicación del Biochar	68
3.3.1 <i>Longitud de Raphanus sativus</i> L. (parte aérea)	68

3.3.2 Longitud total del <i>Raphanus sativus</i> L., cosechado (Hojas y raíz)	73
3.3.3. Numero de hojas	77
3.3.4 Biomasa fresca (hojas y raíz), biomasa seca de la raíz	78
3.3.5 Diámetro de la Raíz de <i>Raphanus sativus</i> L.	83
3.4 Proporción de Biochar para mejorar la producción de <i>Raphanus sativus</i> L.	86
DISCUSIONES	91
CONCLUSIONES	96
RECOMENDACIONES	98
BIBLIOGRAFÍA	99
ANEXOS	105

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Eficiencia de los productos termoquímicos	12
Tabla 2. Composición física de residuos sólidos domiciliarios de Machupicchu pueblo 29	
Tabla 3. Características Agronómicas de la variedad Champion	35
Tabla 4. Composición nutricional del <i>Raphanus sativus</i>	41
Tabla 5. Parámetros analizados y metodología utilizada para determinar las características físicas y químicas del biochar	47
Tabla 6. Parámetros analizados y metodología utilizada para determinar la composición física y química del suelo antes de la aplicación del biochar	51
Tabla 7. Distribución de las proporciones de suelo y biochar para cada tratamiento	55
Tabla 8. Resultados del análisis físico y químico del biochar	62
Tabla 9. Análisis físico y químico del suelo agrícola previo a la aplicación de biochar	64
Tabla 10. Análisis físico y químicos del suelo con la aplicación del biochar	66
Tabla 11. Diferencia de medias de la longitud de la parte aérea del <i>Raphanus sativus</i> L. a los 20 días.	68
Tabla 12. Diferencia de medias de la longitud aérea de <i>Raphanus sativus</i> L. a los 30 días.	70
Tabla 13. Diferencia de medias de la longitud de la parte aérea de <i>Raphanus sativus</i> L. a los 45 días (día de la cosecha).	71
Tabla 14. Diferencia de medias de la longitud total de <i>Raphanus sativus</i> L. (hojas y raíz)	74
Tabla 15. Diferencia de medias de la longitud de la raíz de <i>Raphanus sativus</i> L. (bulbo)	74
Tabla 16. Número de hojas promedio a la cosecha.	78
Tabla 17. Diferencia de medias de la biomasa fresca de hojas	78
Tabla 18. Diferencia de medias de la biomasa fresca de las raíces (bulbo)	79
Tabla 19. Diferencia de medias de la biomasa fresca total (hojas y raíz) .	80
Tabla 20. Diferencia de medias de la biomasa seca de la raíz.	82
Tabla 21. Diferencia de medias del diámetro polar	83
Tabla 22. Diferencia de medias del diámetro ecuatorial	84
Tabla 23. Consolidado de los promedios y significancias para la proporción adecuada del biochar para mejorar las producciones.	86

.

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparación de perfiles de terra preta (derecha) y suelos adyacentes (izquierda)	7
Figura 2. Ilustración-resumen del proceso de pirólisis de biomasa.	9
Figura 3. Estructura química del biochar	13
Figura 4. Aspecto físico de un tipo de biochar	16
Figura 5. Resumen de los principales efectos del biochar sobre las características del suelo.	17
Figura 6. Aplicación del biochar en: suelos de parques y jardines	18
Figura 7. Impacto del biochar sobre el ciclo de C (reducción de las emisiones de CO ₂ hacia la atmósfera)	20
Figura 8. Generación de residuos sólidos municipales	27
Figura 9. Generación y tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales en Machupicchu pueblo	28
Figura 10. Producción de biochar mediante pirólisis lenta en la planta valorizadora	30
Figura 11. Partes de la planta de Rabanito (<i>Raphanus sativus L</i>)	32
Figura 12. Rabanito variedad champion	36
Figura 13. Mapa de Ubicación del invernadero de la IE Monteverde	43
Figura 14. Gráfico para la denominación de los suelos según la clase textural	52
Figura 15. Área de trabajo experimental, invernadero de la IE. Monteverde	53
Figura 16. Suelo agrícola del sector de Ticapata	54
Figura 17. Distribución de los tratamientos en 8 cuadrantes experimentales con 4 tratamientos a diferentes proporciones de biochar(dosis).	55
Figura 18. Pesaje de suelo y biochar, para su mezclado	55
Figura 19. Semillas de <i>Raphanus sativus</i>	56
Figura 20. Riego del cultivo de <i>Raphanus sativus L</i>	56
Figura 21. Control de plagas mediante trampas monocromáticas amarillas	57
Figura 22. Cosecha del cultivo de <i>Raphanus sativus L</i>	58
Figura 23. Medición de la longitud de <i>Raphanus sativus L</i>	58
Figura 24. Biomasa fresca de hojas y raíz de <i>Raphanus sativus L</i>	59
Figura 25. Secado de muestras y obtención de biomasa seca	60
Figura 26. Medición del diámetro del <i>Raphanus sativus</i>	60
Figura 27. Longitud de la parte aérea del <i>Raphanus sativus L</i> . a los 20 días.	69
Figura 28. Longitud promedio de la parte aérea de <i>Raphanus sativus L</i> . a los 30 días.	70
Figura 29. Longitud de la parte aérea del rabanito a los 45 días.	72
Figura 30. Longitud total de <i>Raphanus sativus L</i> .	

Figura 31. Longitud de la raíz de Raphanu sativus L.	75
Figura 32. Promedios de las longitudes de hojas y raíces de Raphanus sativus L. de todos los tratamientos durante el experimento	76
Figura 33. Número de hojas a la cosecha.	77
Figura 34. Comparación de las biomosas frescos totales (hojas y raíz) al final del experimento	81
Figura 35. Diámetro polar y ecuatorial de las raíces los rabanitos según tratamiento.	85
Figura 36. Humedad media del suelo	87
Figura 37. Temperatura ambiental del invernadero	90

RESUMEN

La presente investigación sobre Aplicación de biochar al suelo agrícola para el mejoramiento del suelo y producción de *Raphanus sativus* L., en condiciones de invernadero en el sector de Ticapata, distrito de San Sebastián, provincia y región Cusco, fue desarrollada desde marzo a diciembre de 2021; donde se evaluó el efecto de la aplicación de biochar en el suelo agrícola para mejorar el suelo y producción de *Raphanus sativus* L., las muestras de biochar y suelo fueron evaluadas en laboratorio aplicando las metodologías estandarizadas, así mismo se aplicó el diseño experimental, con 1 testigo y 3 tratamientos (0%, 5%, 10% y 15%) de biochar con 16 repeticiones por tratamiento haciendo un total de 64 unidades experimentales. De acuerdo al análisis de sus características físicas y químicas el biochar es de buena calidad por su alto contenido de N, P, K; sin embargo, con respecto al análisis de los parámetros físicos y químicos evaluados para el suelo testigo, resultó con ciertas limitaciones de nutrientes, pero tras la cosecha, se observaron mejoras significativas en los valores de N, P, K, materia orgánica, conductividad eléctrica y CIC, especialmente en los tratamientos con mayores proporciones de biochar. Las variables agronómicas evaluadas como longitud de hojas, biomasa fresca de hojas y raíces, biomasa seca de raíces, diámetros polares y ecuatoriales de las raíces también mostraron una relación directa con respecto a la cantidad de biochar, siendo los tratamientos de 10% y 15% los más efectivos para mejorar la producción de *Raphanus sativus* L.

Palabras claves: Biochar, calidad del suelo, producción de *Raphanus sativus* L.

2 INTRODUCCIÓN

En los últimos tiempos se ha sabido que la agricultura desempeña un papel muy importante en la economía de cualquier país; proporciona alimentos y materias primas, también oportunidades de empleo a un importante segmento de la población, especialmente en el Perú (Medio Ambiente & Banco Mundial, 2017).

Sin embargo, en la actualidad los suelos de cultivo cada vez son más escasos, debido principalmente a: las condiciones climáticas, el cambio de uso de suelo, la falta de riego tecnificado, las inadecuadas prácticas agronómicas como el uso excesivo de agroquímicos (fertilizantes y plaguicidas), que traen como consecuencia la contaminación de suelos, aguas superficiales y profundas, poniendo en riesgo la salud de las personas y animales (Rodriguez et al., 2019); todas las antes descritas son causantes de la pérdida de nutrientes del suelo, degradación y erosión del mismo, ocasionando la reducción del rendimiento y rentabilidad de los productos agrícolas poniendo en riesgo la seguridad alimentaria (FAO, 2011).

Debido a la crisis global económica derivada de la pandemia por covid-19, era necesario destacar la importancia de la agricultura, por ser esta una actividad sustentable por encima de otras actividades económicas o productivas, para tratar de revertir esta tendencia actual (FAO, 2022) se optó por un insumo ecoamigable económicamente accesible, que pueda mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo para ser utilizado como enmienda, también para mejorar la producción, rendimiento y rentabilidad de los cultivos (Escalante et al., 2016), finalmente contribuir a la mitigación de los efectos del cambio climático por ser sumidero de carbono y ser alternativa de solución para la gestión adecuada de residuos sólidos orgánicos, debido a que le otorga un valor agregado, favoreciendo la valorización y la bioeconomía circular; pues hacemos referencia al “biochar” que viene a ser un producto pirogénico rico en carbono, fino y poroso semejante en morfología al carbón vegetal (Paco,

2012), el cual proviene de diferentes materias primas, inclusive de residuos sólidos orgánicos municipales (materia de estudio). A diferencia de otras enmiendas de origen orgánico como son el compost y el humus el biochar no es degradado de manera rápida por los microorganismos ni lavado fácilmente por las precipitaciones, por lo que le permite estar más tiempo en el ambiente (recalcitrancia).

El biochar se presenta como mejorador de la fertilidad del suelo, es decir, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos, captura y fija carbono, sobre todo en suelos degradados que han perdido la materia orgánica que es básica en la fertilidad del suelo (Escalante et al., 2016).

En el presente trabajo de investigación se optó por determinar las propiedades físicas y químicas del biochar, propiedades físicas y químicas del suelo antes de la aplicación con biochar y después de la cosecha de *Raphanus sativus* L; así mismo determinar la producción de *Raphanus sativus* L y el tratamiento más adecuado para su producción en condiciones de invernadero.

3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hoy en día la actividad productiva de los suelos agrícolas en el sector de Ticapata del distrito de San Sebastián, continúa siendo una parte vital de su economía, sin embargo se identificó un problema creciente en ese sector, donde muchos agricultores de la zona en la búsqueda de mejorar el rendimientos de sus cultivos han recurrido al uso intensivo de diversos agroquímicos y abonos sintéticos, si bien es cierto esto puede ofrecer mejores resultados a corto plazo su uso continuo genera impactos negativos en los recursos: agua, y suelo, así mismo en la salud humana. Ante esta problemática se ha planteado la necesidad de buscar alternativas sustentables que permitan mejorar la calidad del suelo sin depender de agroquímicos y abonos sintéticos.

En este contexto, emerge un insumo ecoamigable el “biochar” como una solución prometedora; este es utilizado como enmienda de los suelos, ha demostrado ser eficaz en la mejora de las propiedades físicas y químicas del suelo, aumentando su fertilidad y capacidad para retener agua, lo cual se traduce en el mejoramiento de la producción de los cultivos.

Para evaluar la efectividad del biochar en un contexto local, se ha diseñado un experimento en un área controlada, específicamente en un invernadero del sector de Ticapata, donde se trasladó suelo agrícola del mismo sector para simular las condiciones reales de producción, donde se optó por evaluar el cultivo de *Raphanus sativus* L. (rabanito), conocido por su rápido ciclo de crecimiento y su sensibilidad a las mejoras del suelo, lo que lo convierte en un indicador ideal para estudiar los efectos del biochar sobre los cultivos hortícolas tuberosas.

El problema identificado permite plantear las siguientes interrogantes con la finalidad de aportar una solución.

PROBLEMA GENERAL

¿Qué efectos tuvo la aplicación de biochar en el suelo agrícola para mejorar la producción de *Raphanus sativus* L. en condiciones de invernadero en el sector de Ticapata, distrito de San Sebastián, provincia y región Cusco?

PROBLEMAS ESPECÍFICOS.

1. ¿Cuáles son las características físicas y químicas del biochar proveniente de la pirolisis de residuos sólidos orgánicos municipales?
2. ¿Cuáles son las características físicas y químicas del suelo agrícola antes de la aplicación de biochar al suelo y después de la cosecha de *Raphanus sativus* L a diferentes proporciones en condiciones de invernadero?
3. ¿Cómo fue la producción de *Raphanus sativus* L. aplicando biochar a diferentes proporciones en el suelo agrícola en condiciones de invernadero?
4. ¿Cuál fue la proporción adecuada en la aplicación del biochar al suelo agrícola para mejorar la producción de *Raphanus sativus* L. en condiciones de invernadero?

JUSTIFICACIÓN

El uso del biochar en el suelo agrícola representa una estrategia innovadora y prometedora para abordar los problemas de degradación del suelo que enfrentan muchos agricultores de la zona, ya que en la búsqueda por aumentar el rendimiento en sus cultivos han recurrido al uso intensivo de diversos agroquímicos y abonos sintéticos, si bien es cierto estos ofrecen mejores resultados a corto plazo, su uso continuo genera impactos negativos sobre la sostenibilidad de los suelos agrícolas (Martínez, 2020).

Por este motivo, el presente trabajo de investigación propone mejorar el suelo agrícola con la aplicación del biochar a diferentes proporciones y mejorar la producción de *Raphanus sativus* L. en condiciones de invernadero para su posterior replicabilidad en suelos empobrecidos y otros tipos de cultivos, sobre todo en los huertos familiares, que hoy en día se han incrementado especialmente en las zonas rurales, con la finalidad de afianzar la seguridad alimentaria de la mano con la bioeconomía circular sostenible.

Se prevé que el impacto de este estudio resulta positivo en términos sociales, económicos y ambientales a corto plazo, mediano y largo plazo. Los resultados no solo enriquecerán el conocimiento académico, sino que también serán de gran utilidad para el sector agrícola, gobiernos locales y regionales, así como para otras entidades gubernamentales y no gubernamentales. Estos resultados apoyarán la toma de decisiones en la implementación de programas de recuperación de la fertilidad de los suelos agrícolas mediante enmiendas orgánicas sostenibles y económicamente viables, como alternativa a los fertilizantes químicos o biológicos convencionales.

5 OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la aplicación de biochar en el suelo agrícola para mejorar el suelo y la producción de *Raphanus sativus* L. en condiciones de invernadero en el sector de Ticapata, distrito de San Sebastián, provincia y región Cusco.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Determinar las características físicas y químicas del biochar proveniente del pirólisis de residuos sólidos orgánicos municipales.
2. Describir las características físicas y químicas del suelo agrícola antes de la aplicación de biochar al suelo y después de la cosecha de *Raphanus sativus* L a diferentes proporciones en condiciones de invernadero.
3. Evaluar las variables agronómicas para determinar la producción de *Raphanus sativus* L. después de la aplicación del biochar a diferentes proporciones en el suelo agrícola en condiciones de invernadero.
4. Definir la proporción adecuada en la aplicación de biochar al suelo agrícola para mejorar la producción de *Raphanus sativus* L en condiciones de invernadero.

6 HIPÓTESIS

HIPÓTESIS GENERAL

La aplicación del biochar en el suelo agrícola tiene efectos significativos para mejorar el suelo agrícola y la producción de *Raphanus sativus* L. en condiciones de invernadero.

HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

1. Según el análisis físico y químico del biochar, este es de buena calidad.
2. Las características físicas y químicas del suelo agrícola mejoran significativamente después de la aplicación de biochar.
3. Según las variables agronómicas evaluadas la producción de *Raphanus sativus* L. mejora significativamente con la adición de biochar.
4. La aplicación de las proporciones más altas de biochar en el suelo agrícola mejora significativamente la producción de *Raphanus sativus* L.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1 Antecedentes

1.1.1 *Antecedentes Internacionales*

Molina (2019) en el estudio sobre “Evaluación de la aplicación de biochar en el cultivo de *Physalis peruviana* L. (Uchuva), Bogotá”, evaluó la aplicación de biochar en diferentes concentraciones en el cultivo de Uchuva, donde concluye que para el tiempo de evaluación el efecto del biochar en los 2 primeros meses del cultivo de uchuva fue muy corta para encontrar variables fisicoquímicas de crecimiento. Sin embargo, para ese periodo de tiempo se observó que el tratamiento de biochar de 3.5 ton ha⁻¹ presentó mayor floración y mayor número de tallos respecto a los demás tratamientos, así mismo se analizaron las propiedades físicas, químicas y microbiológicas del suelo. De las propiedades fisicoquímicas sólo el pH del suelo presentó diferencias significativas (pH = 6.2)

Olmo (2016) en su investigación “*Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal - Córdoba - España*”, realizó experimentos de diferentes biochars, dosis de aplicación y especies agronómicas, llegando a la conclusión que el biochar aumentó la capacidad de retención hídrica del suelo, y redujo su densidad aparente y compactación, así como también aumentó el pH, en menor medida en suelos de pH alcalino, y la conductividad eléctrica del suelo y el contenido de (Ca, K, Mg, P, Cu y Zn) aumentó, la longitud específica de la raíz también incrementó, haciendo las raíces más finas y con tejido menos denso, la aplicación del biochar tuvo implicancias sobre el desarrollo de la planta en su conjunto, y promovió el crecimiento vegetal y la producción de frutos al facilitar un

mayor acceso a los recursos (agua y nutrientes) presentes en el suelo.

Nieto (2015) en su tesis doctoral titulada “*Fabricación, caracterización y utilización de biochar como sustituto de la turba en la preparación de sustratos de cultivo*” abordó diferentes biochars obtenido de restos de poda mezclandolo con porciones distintas de turba para ser utilizados como sustrato de cultivo. Llegando a la conclusión que con los resultados obtenidos es posible preparar sustratos de cultivo a partir de la mezcla de biochar de restos de poda y la mezcla con turba, mejorando la germinación y el aumento del crecimiento de *Lactuca sativa*.

Nates (2014), en su estudio “*Evaluación del efecto de biochar en el suelo y la calidad de los frutos en un cultivo de uchuva*” Se determinó el efecto del biochar después de un año de aplicado al suelo, en dos dosis (3.5 y 8 ton ha^{-1}), en Santa Rosa de Viterbo, Boyacá. Concluye que al adicionar biochar al suelo como enmienda, la Uchuva mejoró ligeramente en la calidad de los frutos, lo que se traduce que aumento el tamaño de estos, en cuanto se refiere a las características físicas y químicas del suelo no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos, así como tampoco se encontró correlación entre las variables del suelo y las características de los frutos.

Balbuena Franco, C., & Osorio Lopez, E. (2023), en su estudio “*Evaluación del biochar como medio de captación de carbono en el suelo*”. Propuso al biochar para reducir emisiones de GEI, y se analizó cuánto carbono fijo puede ser almacenado en el suelo mediante la aplicación de biochar de cuesco de palma. Usando técnicas de fraccionamiento de materia orgánica, se determinó las cantidades de carbono lábil y fijo (ácidos fúlvicos, húmicos y huminas). Aunque no se encontraron diferencias significativas en el contenido de carbono fijo entre los diferentes tipos de biochar (molido, funcionalizado y entero), se observaron diferencias en la calidad del carbono

fijo. Al analizar mezclas, no se evidenció una diferencia notable en el aporte de las diferentes fracciones del carbono fijo. En general, se observó que entre 5 y 8 ton/Ha de biochar, la cantidad de carbono almacenado en el suelo no variaba significativamente, con muestras que contenían 8 ton/Ha de biochar mostrando valores más altos de carbono.

1.1.2 Antecedentes Nacionales

Guerra (2015), en su tesis titulada “*Producción y caracterización de biochar a partir de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonia peruana*” trabajo realizado en el año 2015 donde evaluó las características físicas y químicas del biochar mediante pirolisis lenta a 550 - 600°C teniendo como materia prima los restos de cultivos agroforestales de la Amazonia Peruana y así determinar si es efectiva como enmienda del suelo agrícola, llegando a la conclusión que su trabajo encontró diferencias significativas para las propiedades físicas y químicas evaluadas para el biochar siendo los más efectivos el biochar de cascara de sachu inchi y el biochar de la corteza de palmito.

Trujillo (2017), en su tesis titulada “*Producción y Caracterización de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas*” en el año 2017, donde realizó el diseño de un horno de doble tambor para su trabajo de investigación de residuos avícola, así mismo indicó que los rendimientos de los biochar tuvieron buenos resultados tanto para el biochar de gallinaza como para pollinaza, teniendo como pH alcalino, densidad aparente superior a (0.33 g/cm³), los contenidos de C, P, K, Cu, Mg y Zn, no tuvieron diferencias significativas entre los tratamientos, pero para N, Ca, Fe y Mg sí tuvieron diferencias significativas, posterior a ello los biochar fueron sometidos a pruebas de ensayo para determinar el índice de crecimiento tanto de semillas como de tallos.

Iglesias (2018), en su tesis titulada “*Aplicación de Biochar a partir de biomasa residual de Eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano*” en el año 2018 donde aprovecho los residuos de eucalipto para convertirlo en Biochar y mejorar el rendimiento del cultivo de maíz, llegando a la conclusión de que se encontró un incremento en el rendimiento, así como en otras características fenológicas.

Huerta (2019), en su tesis titulada “Influencia del biochar elaborado con residuos sólidos orgánicos sobre la calidad y producción del cultivo de la papa en el centro experimental ecológico de Tuyu Ruri, noviembre 2018 a abril 2019”. Los resultados obtenidos demostraron que los residuos sólidos orgánicos proporcionan nutrientes y características a dicha enmienda. Por su parte, los resultados relacionados al monitoreo del cultivo tratado con biochar evidenciaron mejoras significativas en la altura, el estado fitosanitario, la cantidad y peso de las papas obtenidas. También el desarrollo de la investigación confirmó que el tratamiento 2 (biochar al 10 %) proporcionó mejoras en comparación con los otros tratamientos. Se concluyó que el biochar producido mediante la pirólisis de los residuos sólidos orgánicos, influyó en la mejora de la calidad y producción del cultivo de la papa en el CEE de Tuyu Ruri.

Solisor L (2021) En su investigación: “Efecto del biochar del eucalipto (*Eucalyptus globulus*) en la mejora de la calidad de suelo y las características morfológicas del rabanito (*Raphanus sativus*) Huánuco 2020” Concluyó que el biochar de eucalipto tiene un efecto significativo sobre la calidad del suelo para todos los parámetros evaluados a excepción del Limo en el tratamiento del suelo donde se mezcla el biochar al 30%, sin embargo se concluye que las características morfológicas del rabanito es totalmente independiente de la calidad del suelo obtenido

1.2 Base Teórica

1.2.1 Biochar

Palabra inglesa, cuyo término en castellano sería biocarbon; sin embargo, aún no está reconocido por la Real Academia Española (RAE); el mismo hace referencia a un producto pirogénico rico en carbono, fino y poroso semejante en morfología al carbón vegetal (Paco, 2012), cuya procedencia resulta de las conversiones que sufre la energía calorífica de la biomasa en las reacciones químicas (fuente de energías renovables), a través de diferentes procesos termoquímicos como son: la pirolisis (lenta, rápida, ultrarrápida), gasificación, carbonización hidrotérmica y torrefacción seca (Rebolledo et al., 2016) por lo que la calidad de biochar (las propiedades químicas, físicas y biológicas) estará en función de la naturaleza de la materia prima (biomasa), del proceso de obtención (pirolisis, gasificación, carbonización hidrotérmica o torrefacción seca) y condiciones de producción adecuada (temperatura, presión y tiempo de residencia del material en el reactor) (Sohi et al., 2009).

Vale aclarar que la definición “biochar” hace referencia a la biomasa pirolizada cuando su destino será la aplicación como enmienda orgánica de suelos y para el secuestro de carbono en el mismo, descartando así el uso de biochar como combustible (carbón vegetal) (Lehmann & Joseph, 2009).

En el presente estudio de investigación se ha considerado la obtención de biochar a partir de la técnica de pirolisis de tipo lenta, que según Lehmann & Joseph (2009, 2015); Paco (2012) viene a ser un proceso termoquímico a temperaturas superiores a 400°C y menores a 700 °C, siendo el rango de 450 y 550 °C la temperatura óptima, en condiciones de limitado oxígeno, convirtiendo la biomasa en materiales sólidos, líquidos y gases de alta densidad energética,

1.2.1.1 Historia y origen del Biochar

Las investigaciones y estudios sobre el biochar como enmienda de suelos se ha dado en

los últimos años, sin embargo, la idea del biochar como una enmienda del suelo se remonta como hace 2000 años (Lehmann & Joseph, 2009, 2015), donde estos suelos ricos en C orgánico y muy fértiles eran utilizados a lo largo de la cuenca del Amazonas por los nativos, los cuales no son similares a los suelos de la selva Amazónica que estos suelen ser muy pobres en nutrientes, también se pudo reportar la presencia de este tipo de suelos en otros lugares los cuales describe (Escalante et al., 2016). a continuación:

Antes se pensaba que sólo se encontraban en la Amazonia, pero aseguró que recientemente este tipo de suelos también pueden encontrarse en México y África. Asimismo, se tienen evidencias de su existencia en Borneo (Escalante et al., 2016) y en Estados Unidos de América, desde hace más de 10 mil años. En esos casos habrían sido generados por incendios, tanto naturales como inducidos, en las praderas. En Australia, Alemania y en Japón se han encontrado suelos similares.

Estos suelos con alto contenido de carbono residente y materia orgánica le dan una apariencia más oscura y le otorgan una mejor y mayor crecimiento a los cultivos de hasta tres veces más en comparación a los de suelos aledaños como se muestra en la Figura 1, debido a la alta disponibilidad nutricional como N, P, K y Ca, altos contenidos de humedad, mayor capacidad de intercambio catiónico y mayor actividad microbológica” a estos suelos se les denominó “terra preta” o "tierra oscura", redescubiertas por Smith en 1879 y Hartt en 1885 (Olmo, 2016).

Figura 1.

Comparación de perfiles de terra preta (derecha) y suelos adyacentes (izquierda)



Nota: (Olmo, 2016)

En cuanto al origen de la terra preta se cree que provendría de la quema intencionada de bosques y maleza para la obtención de tierras de cultivo, es así como surge la idea de quemar residuos orgánicos y mezclarlos posteriormente en el suelo para aumentar su fertilidad y la producción (Glaser, 2004).

1.2.1.2 Procesos para la obtención del biochar.

Éstos son diversos y consideramos cuatro categorías generales: pirolisis lenta, pirolisis rápida, pirolisis ultrarrápida y gasificación (Laird et al., 2009), sin embargo, además de estos (Brick, 2010) propone un quinto proceso que es la carbonización hidrotérmica, (Yaashikaa 2020) propone un sexto proceso denominado torrefacción seca; a continuación, detallaremos cada una de ellas:

A. Pirolisis.

Rebolledo et al. (2016) manifiesta que la pirolisis es un proceso termoquímico a temperaturas mayores a 400°C, donde se lleva a cabo la descomposición térmica de la biomasa en ausencia de oxígeno, generando una fase gaseosa y otra fase sólida residual, en la primera fase se obtendrá bio-aceite y gas de síntesis, en donde los bio-aceites se forman cuando los vapores de la pirolisis se condensan por enfriamiento, mientras que para la obtención de gas de síntesis ocurre cuando los compuestos volátiles de bajo peso molecular permanecen en la fase gaseosa (syngas), finalmente en la fase sólida residual se obtendrá biochar (McHenry, 2009).

Durante el proceso de pirolisis la biomasa (materia prima) sufre cambios físicos y químicos muy complejos, estos están en función de la naturaleza de la biomasa (composición, distribución de tamaño de partícula y de tamaño de poro, entre otras) y de las condiciones del reactor (pirolisis) (Verheijen et al., 2010).

A continuación, se describirán las tres primeras variables que son condicionantes en el rendimiento de productos (sólidos, líquidos y gases).

Variables condicionantes, son tres como se detalla a continuación:

Composición de la materia prima: al provenir de diferentes orígenes, está conformada por materiales complejos y heterogéneos, donde su estructura y composición varía, por lo que dichos componentes serán responsables de la variedad y complejidad de los productos obtenidos durante la pirolisis (Krull et al., 2010), en el caso de que se utilice restos de lodos residuales o camas avícolas como fuente de materia prima podrían resultar perjudiciales para el suelo, cultivos y la salud humana por su contenido de herbicidas, pesticidas, fungicidas, metales pesados y antibióticos (Verheijen et al., 2010), este parámetro es importante para la agricultura, sin embargo aún no se determina cuál sería la mejor materia prima para uso en el suelo y producción de energía.

Intervalo de calentamiento. Viene a ser el incremento de la temperatura por unidad de

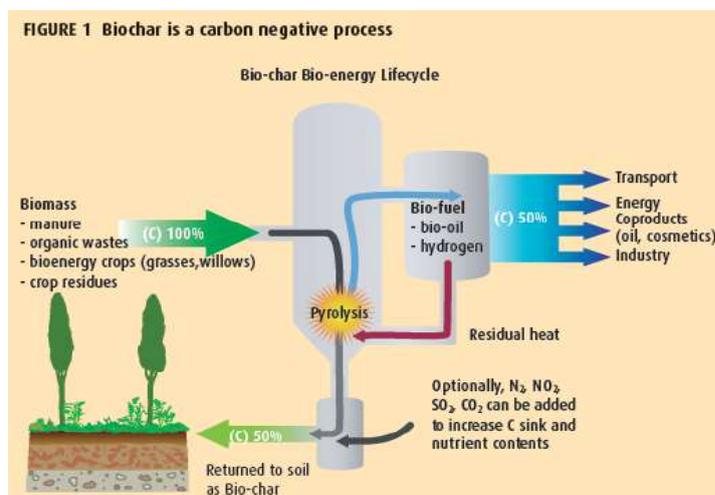
segundo, que conjuntamente con la duración e intensidad de calentamiento condicionan la velocidad, grado, secuencia de las reacciones de pirólisis, y la composición de los productos resultantes. Al ser más bajo el intervalo de temperatura se aumenta la producción de biochar y al ser mayor, disminuye la producción de biochar (Rebolledo et al., 2016). Según Sohi et al. (2009). El nivel de calentamiento está en función al tamaño de partícula, es decir la pirólisis de partículas de mayor tamaño necesitan más intervalo de calentamiento, mientras que la pirólisis de partículas pequeñas se da a menor intervalo de calentamiento.

Temperatura. A temperaturas bajas, el carbón es el producto más predominante, seguido del agua, mientras que a temperaturas elevadas el mayor rendimiento es de líquidos y productos volátiles (gases) se incrementa, mientras que los residuos sólidos disminuyen (Sohi et al., 2009).

Teniendo en consideración estos dos parámetros velocidad de calentamiento y temperatura podemos concluir que se obtendrá un mayor rendimiento de biochar bajo condiciones de pirólisis de partículas pequeñas con bajas tasas de calentamiento y baja temperatura (Sadaka, 2007).

Figura 2.

Ilustración-resumen del proceso de pirólisis de biomasa.



Nota: (Paco, 2012)

a) Tipos de pirolisis:

Existen tres tipos de pirolisis (pirolisis lenta, rápida y ultrarrápida), las cuales se detallan a continuación:

Pirolisis lenta:

Según (Paco, 2012) y (Rebolledo et al., 2016) es un proceso endotérmico, a bajas temperaturas entre 450 y 650°C, en condiciones anóxicas con una combustión parcial de la biomasa por calentamiento uniforme y lento (aproximadamente 0,01-2°C/seg), en donde se obtiene tres subproductos en las siguientes proporciones: 35% biochar, 35% syngas y 30% bioaceite (de este 70% es agua), estos dos últimos pueden ser utilizados para generar calor o electricidad que podría servir para el secado de la materia prima o retroalimentar el proceso, este mismo sería el de mayor rendimiento de biochar (Gheorghe et al. 2009).

Es importante mencionar que el biochar utilizado en el presente estudio de investigación fue producido por este tipo de técnica a una temperatura de 560°C.

Pirolisis rápida:

Se da a temperaturas mayores a los 550 °C, el calentamiento es mayor a 200 °C/seg, los subproductos que se obtienen son bioaceites 75% (de los cuales 25% es agua) (Paco, 2012), el cual se considera ventajoso a diferencia de derivados del petróleo, por sus bajas o nulas emisiones de óxidos de azufre y de nitrógeno en su combustión (Bridgewater, 2004), el segundo subproducto son gases en un 13% ricos en etileno que podrían ser usados para producir alcoholes o gasolina, finalmente carbón y alquitrán en menor cantidad aproximadamente 12% (Czernik & Bridgewater 2004). Además, potencialmente podría ser un método seguro de eliminación de materias primas contaminadas por toxinas (Gómez et al., 2010).

Pirólisis ultrarrápida.

La pirólisis ultrarrápida se caracteriza porque las temperaturas a las que se lleva a cabo el proceso son moderadas (400-600 °C) y las tasas de calentamiento son rápidas (>2 °C s⁻¹).

Los tiempos de residencia del vapor son usualmente menores a 2 s. En este sistema se produce considerablemente menos alquitrán y gas. Sin embargo, los productos aceitosos obtienen su máximo rendimiento (75 y 80%) (Escalante et al, 2016).

B. Gasificación.

Este proceso según Rebolledo et al. (2016) comprende dos conversiones:

La primera se denomina carbonización con gasificación de la biomasa para transformarla en carbón, que en sí viene a ser una pirólisis lenta; la segunda conversión, se da a mayor temperatura y viene a ser la transformación de carbón a ceniza, llamada gasificación de carbón, el mismo será consumido y reducido parcialmente a cenizas y remanentes de carbón en condiciones de limitado oxígeno, mientras que la presencia de abundante oxígeno lo reducirá completamente a cenizas.

C. Torrefacción seca.

Viene a ser un proceso de pirólisis incompleta con una velocidad de calentamiento baja entre 200 a 300°C, tiempo de residencia de 30 minutos y velocidad de calentamiento de menos de 50°C/min, este proceso consta de cuatro fases: calentamiento, secado, torrefacción y enfriamiento (Yaashikaa et al., 2020).

D. Carbonización hidrotermal.

La carbonización hidrotermal o torrefacción húmeda viene a ser un proceso similar a la pirólisis, pero se diferencia de ella por la presencia de agua subcrítica en el proceso para la descomposición de materia prima (Yaashikaa et al., 2020).

Con todo lo anteriormente mencionado podemos concluir que los procesos que cuentan con un mayor rendimiento de producto, sobre todo de biochar, bajo condiciones ideales de: temperatura, tiempo de residencia y velocidad de calentamiento, son la torrefacción seca, carbonización hidrotermal y pirólisis lenta como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1.*Eficiencia de los productos termoquímicos*

Proceso	Temperatura	Tiempo de residencia	Velocidad de calentamiento (°C/min)	Rendimiento (%)			Referencia
				biochar	Bioaceite	Syngas	
Pirolisis Lenta	300-800	> 60min	5-6	30-55	-	-	Ghodake 2021
	300-800	> 60min	5-6	35-50	-	-	Lee 2018
	300	25min	05-48	25-65	-	-	Hasan 2021, Lu 2020
Pirolisis Rápida	300 -700	>2s	-	35	30	35	Yaashikaa 2020, Cantrell 2012
	400-600	1-10 s	300-800	16-37	-	-	Ghodake 2021
	400-600	0.5-10 s	300-800	15-35	-	-	Lee 2018
Pirolisis Ultrarapida	400-700	25min	10-100	10-25	40-70	10-20	Hasan 2021, sipra, 2018
	500-1000	-	-	12	75	13	Yaashikaa 2020, Cabtrell 2012
	400-1000	2-3s	1000	11-22	-	-	Ghodake 2021
	400-1000	<2s	1000	10-20	-	-	Lee 2018
	700-900 o más	<0.5s	1000	10-15	10-20	60-80	Hasan 2021, Garcia 2020, Kataki 2018
Torrefacción	300-600	<30min	-	37	-	-	Yaashikaa 2020, Nunoura 2005
	200-300	30 min-4h	1015	60-80	-	-	Lee, 2018
	290	10-60min	-	80	0	20	Yaashikaa 2020, Bergma 2005
Gasificación	750-1000	10-20s	1000	14-25	-	-	Ghodake 2021

Nota: (Vilca et al., 2022)

1.2.1.3 Estructura química del biochar.

Cada partícula de biochar está conformado por dos estructuras las cuales son descritas por (Rebolledo et al., 2016) a continuación:

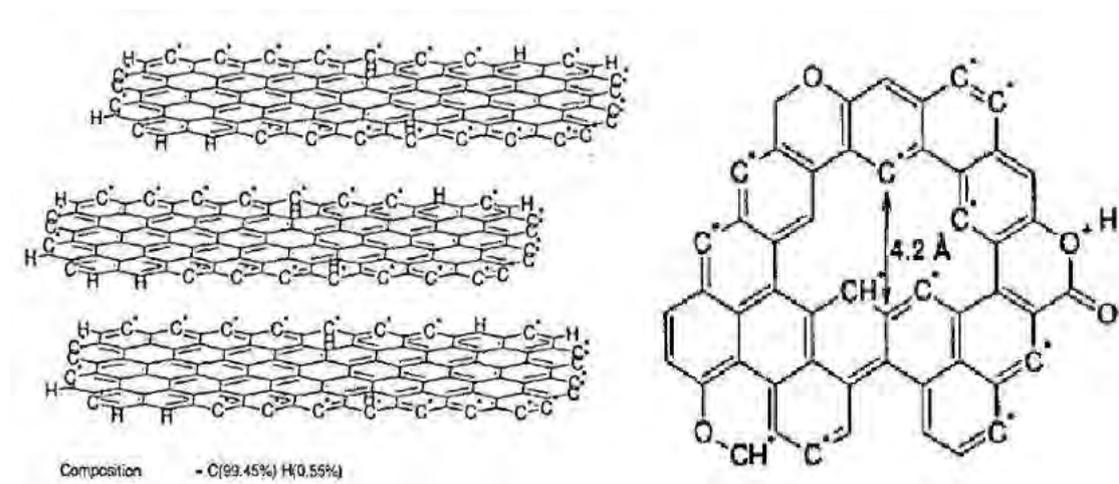
Láminas juntas de grafeno cristalino y estructuras aromáticas amorfas ordenadas, ambas

unidas con enlaces de carbono en forma de anillos de tipo benceno con oxígeno o hidrógeno (Lehmann & Joseph, 2009). Estos enlaces entre estructuras aromáticas de C-O y C-H le otorgan estabilidad al biochar y son usados para medir su grado de aromaticidad (Hammes et al., 2006), pero también presentan estructuras de carbono oxidadas y alifáticas muy fácilmente degradables.

Estructura química del biochar; en la imagen izquierda (modelo de estructura formada por microcristales de grafeno); en la imagen derecha (estructura formada por compuestos aromáticos que contienen radicales libres con O y C).

Figura 3.

Estructura química del biochar



Nota: (Bourke et al., 2007)

1.2.1.4 Caracterización del biochar.

Según Lehmann & Joseph (2009) citados por (Escalante et al., 2016) indican que, “los componentes del biochar resisten la oxidación química y biológica por ser altamente recalcitrantes, debido a su tiempo de residencia que es de 10 a 10 mil veces más que en comparación al resto de materia orgánica presente en el suelo que es de cientos a miles de años”, de la misma manera el exceso de CO₂ en la atmósfera puede ser mitigado con la adición de biochar al suelo, ya que este actúa como un sumidero potencial de carbono (Verheijen et al.,

2010). Sin embargo, es importante mencionar que no todo el biochar permanece inalterado en el suelo, sino que una parte de éste puede ser oxidado (Cheng et al., 2008) lo que modificará algunas propiedades del suelo, es decir que la cantidad de carbono lábil respecto al recalcitrante influye en la calidad del biochar, si su potencial de secuestro de carbono es elevado diremos que es de buena calidad, (Bruun et al., 2011). El carbono lábil puede estimular la mineralización de la materia orgánica del suelo, mientras que el biochar recalcitrante aumenta la estabilización de los componentes orgánicos biogénicos a través de la adsorción y la humificación. Referente a la química superficial del biochar la capacidad de intercambio catiónico (CIC) va a estar relacionado directamente a su pH (Chang & Xu, 2009), donde a temperaturas bajas de pirólisis el pH será bajo(ácido) y se incrementa considerablemente a temperaturas más altas (alcalino), el biochar utilizado como enmienda de los suelos alcanza su mayor calidad a través de la pirólisis lenta y en un rango de temperatura de 550°C a 700°C y considerando otros factores para su producción. Rebolledo et al. (2016) señalan que la CIC no sólo están en función de la temperatura de pirólisis de la biomasa, sino también del tiempo que tiene el biochar luego de ser producido, es decir cuando se trata de carbonos envejecidos su superficie presenta más cargas negativas que positivas lo cual le confiere mayor CIC por lo que tendrá como consecuencia el aumento de pH, mientras que en el caso de biochares recién producidos presentan más cargas superficiales positivas que negativas, lo cual le confiere una menor CIC y disminución del pH, esto por su contacto con el oxígeno y el agua; es importante mencionar que el biochar experimenta un proceso de envejecimiento natural con el pasar del tiempo en donde se producirán cambios químicos y estructurales, los cuales alteran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Rebolledo et al., 2016).

1.2.1.5 Características físicas y químicas del biochar.

Según (Lehmann, 2007) en cuanto se refiere a sus características físicas el biochar es un sólido oscuro, rico en carbono y amorfo según estudios de microscopía electrónica de barrido

realizados por Qiu et al. (2008), de acuerdo al tipo y tiempo de la pirólisis sus características estructurales varían, mientras que la naturaleza y tamaño de la materia prima determinará las diferentes dimensiones de partículas que oscilan entre los <2 nm(microporos), 2-50 nm (mesoporos) y>50 nm (macroporos). Los primeros se originan en el proceso pirolítico, donde a mayor temperatura, mayor será la formación de microporos, aumentando la microporosidad que estará relacionados directamente a la adsorción de compuestos sólidos, líquidos y gases ayudando al transporte de moléculas concentradas (Martínez et al.,2006).

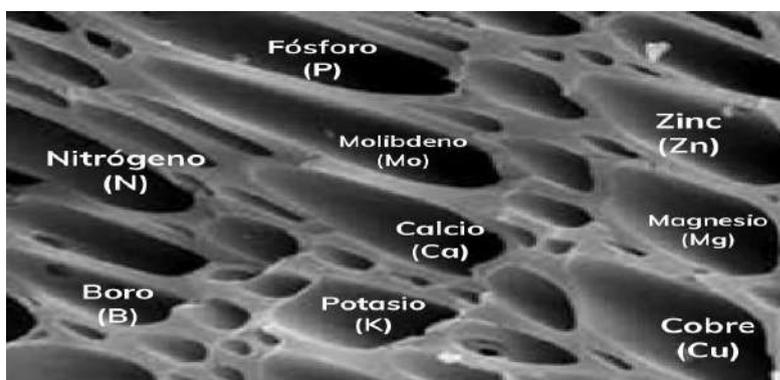
1.2.1.6 Propiedades físicas y químicas del biochar.

Las propiedades físicas del biochar contribuyen a su función como herramienta para la gestión ambiental, ya que los sistemas del suelo se verán afectados directa o indirectamente, debido a que cada suelo presenta sus propias propiedades físicas, que están sujetos a la naturaleza de la materia mineral y orgánica que los conforman.(Brady & Weil, 2008), y al adicionarle biochar, su contribución a la naturaleza física del sistema puede ser significativo, ya que influye en la: textura, estructura, distribución del tamaño de poro, área superficial total, densidad aparente, aireación, capacidad de retención de humedad, crecimiento de las plantas y facilidad de laboreo del suelo, también afectará directamente la respuesta del suelo al agua, su agregación, la permeabilidad, así como su capacidad para retener cationes, donde incrementará la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo, reteniendo: NH_4^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , esto debido a su elevada superficie específica, alta carga superficial negativa y elevada densidad de carga, estos sobre todo en biochares envejecidos, también cuando se ha usado con fines de encalado (González & Marquettiti et al., 2020).

El biochar también mejorará el balance del pH y su respuesta a los cambios de temperatura ambiente. Además, indirectamente, muchos aspectos químicos y biológicos de la fertilidad del suelo se pueden deducir de las propiedades físicas (Amonnette, 2009).

Figura 4.

Aspecto físico de un tipo de biochar



Nota: Definición del Biochar y su papel en la Agricultura,

1.2.1.7 Propiedades biológicas del biochar.

El biochar al ser altamente poroso, se asemeja a un arrecife subterráneo, convirtiéndose en el hábitat perfecto para los microorganismos edáficos que resultan ser de suma importancia para la agricultura (Rouquerol et al., 1999), donde el biochar cumple la función de protección de los depredadores, de la desecación y cubre sus demandas de carbono (C), energía y nutrientes minerales (Thies & Rilling, 2012), en la actualidad se vienen realizando diversos estudios científicos para comprender mejor cómo la presencia de microorganismos en suelos con biochar afectan las propiedades físicas, químicas y la ecología del suelo, los cuales tendrán repercusión en los servicios ecosistémicos.

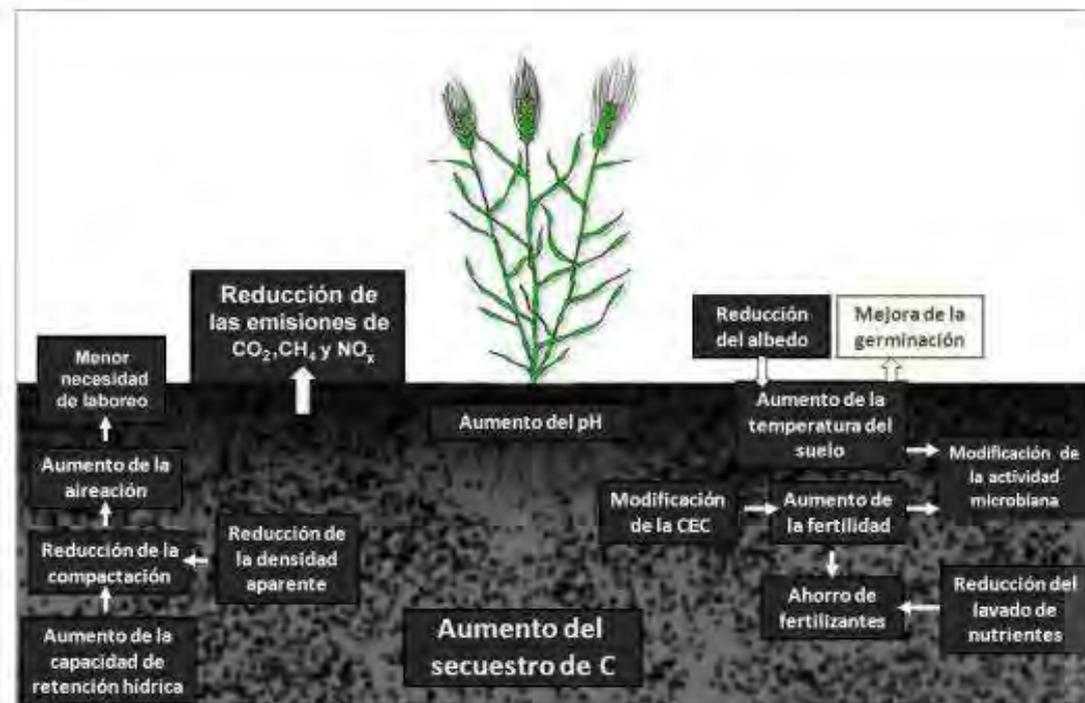
1.2.1.8 Funciones y procesos en el suelo.

Según (Laird et al., 2009), la aplicación de biochar al suelo aumentará la permeabilidad al agua, retención del agua, aire, nutrientes y microorganismos por lo que se reduciría la escorrentía, costos de riego y costos de producción agrícola. Para una correcta aplicación de biochar al suelo se debe de considerar la Capacidad de Carga con biochar (CCB), sin embargo, no es claro cómo se determina este valor, tampoco se conoce si la CCB varía de acuerdo a los diferentes procesos de obtención de biochar o a la naturaleza de la materia prima para su

obtención, es más incluso los diferentes tipos de suelos y las condiciones ambientales podrían ser determinantes (Verheijen et. al, 2009).

Figura 5.

Resumen de los principales efectos del biochar sobre las características del suelo.



Nota: (Olmo, 2016)

1.2.1.9 Mejoras en el suelo agrícola.

El biochar se presenta como mejorador de la fertilidad del suelo, es decir, mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos (Escalante et al., 2016), captura y fija carbono, sobre todo en suelos degradados que han perdido la materia orgánica que es básica en la fertilidad del suelo Robert, M. (2002). Las dos primeras propiedades están relacionadas con su estructura y se asocian más con la problemática de la degradación del suelo, motivo por el que fueron abordadas con mayor énfasis en el presente estudio de investigación ya que la degradación y disminución de la fertilidad del suelo asociada a la pérdida de la materia orgánica, es un problema muy frecuente.

La incorporación del biochar al suelo va a ocasionar cambios en su fertilidad, ya sea a nivel de sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas, por el contenido de nutrientes esenciales que este contenga, como nitratos, fosfatos y potasio lo que aumenta su disponibilidad e intercambio iónico de nutrientes esenciales para los cultivos capturando y reteniendo moléculas de agua, así mismo su adición va a evitar pérdidas de nutrientes por lixiviación, otro aspecto a ser tomado en cuenta es la coloración oscura del biochar, que al estar incorporado al suelo podría favorecer la absorción de la radiación solar reduciendo el albedo, aumentando su temperatura, lo cual puede ser fácilmente compensado con la alta capacidad de retención de agua del biochar, el incremento de la temperatura del suelo conjuntamente con el incremento de la capacidad de retención de agua y del contenido de nutrientes resultaría beneficioso para la germinación de las semillas y la actividad microbiana (Downie et al. 2009).

Figura 6.

Aplicación del biochar en: suelos de parques y jardines



1.2.1.10 Biochar como enmienda de suelos contaminados.

Ha sido comprobada la capacidad de adsorción física y química de herbicidas, pesticidas y metales pesados del biochar, sobre todo en caso de los carbones activados (Kookana et al. 2010).

Dependiendo del objetivo que se quiere lograr y de las propiedades del suelo se

plantearía el uso de un determinado tipo de biochar, es por ello la necesidad de realizar una caracterización previa y completa del biochar, es así que Mayor (2010) señala que en suelos ácidos es aconsejable aplicar biochar con pH elevado, así mismo biochar con altos contenidos de C recalcitrante son recomendables para su aplicación en los suelos para secuestro de C.

1.2.1.11 Secuestro de carbono y cambio climático.

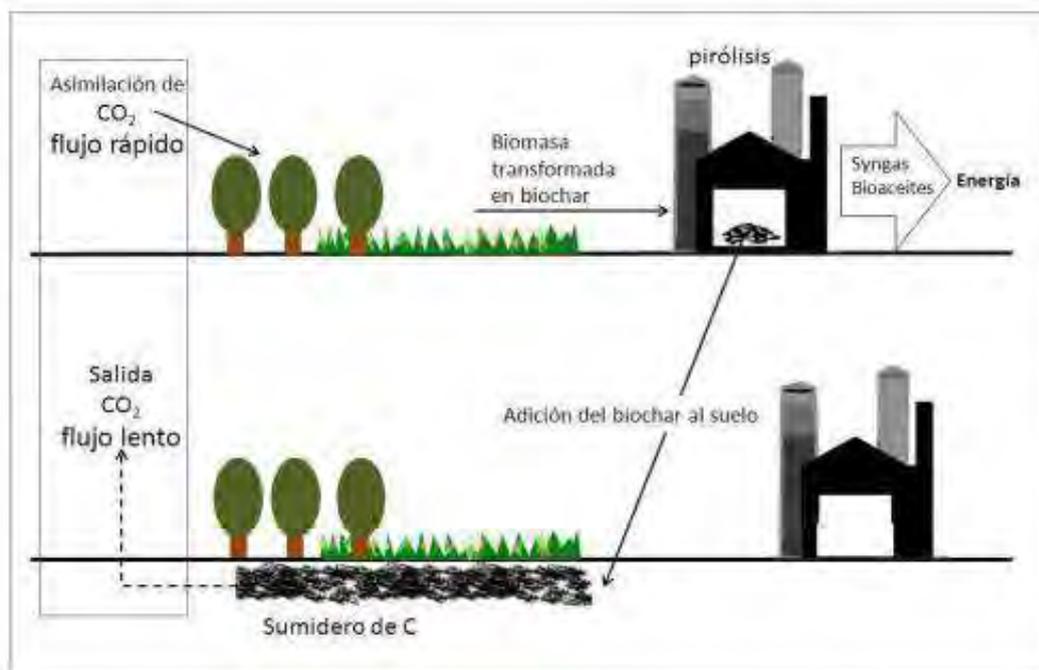
Las plantas toman CO_2 de la atmósfera durante la fotosíntesis para producir estructuras carbonosas, que al morir por acción de la descomposición forman parte de la materia orgánica del suelo, presentando carbono en sus estructuras, los cuales en su mayoría son mineralizadas y son liberadas en forma de CO_2 a la atmósfera, a esto se suma el CO_2 producido por la respiración de las plantas, de esta manera las cantidades de CO_2 absorbidas y liberadas deben de estar balanceadas (balance de carbono neutral), es decir, que no incrementa la cantidad neta de este gas en la atmósfera. En ese sentido la adición neta de carbono a la atmósfera representa el carbono positivo, en tanto que la reducción neta de este gas se refiere al carbono negativo. En el caso de la incorporación del biochar en su forma recalcitrante al suelo hace referencia a carbono negativo, dado que tarda mucho tiempo en degradarse (Schahczenski, 2010).

Lehmann & Josepeh (2009); Downie et al.(2009), sostienen que el biochar al ser rico en carbono y ser altamente resistente a la descomposición funciona como un depósito de formas recalcitrantes cuando es aplicado al suelo como mejorador, también disminuye hasta en un 54% las emisiones de óxido nitroso que es otro gas de efecto invernadero (GEI), donde el biochar transforma el óxido nitroso a nitrógeno molecular (N_2), que es la forma gaseosa en la que el nitrógeno se halla normalmente en la atmósfera y que no supone ningún problema para el calentamiento global, esto gracias a los procesos microbianos como la mineralización, la nitrificación y la desnitrificación que regulan la dinámica del nitrógeno en el suelo. Estos 2 últimos son los principales responsables de la emisión de óxido nitroso (N_2O), se debe precisar que, de acuerdo a la naturaleza de la materia prima, el tipo de suelo y tipo de fertilizante

agregado al suelo, se determinará el porcentaje reducido, de esta manera la reducción varía.

Figura 7.

Impacto del biochar sobre el ciclo de C (reducción de las emisiones del CO₂ hacia la atmósfera)



Nota: (Olmo Prieto, M., 2016)

1.2.1.12 Métodos de aplicación al suelo.

Para aplicar biochar al suelo se deben considerar una serie de factores como los que a continuación son descritas por Rebolledo et al. (2016):

(1) los relacionados con el suelo (tipo y erodabilidad), (2) prácticas de cultivo, (3) condiciones del entorno (clima, humedad), (4) la forma de aplicación (con maquinaria o manual, superficial a 0-30 cm o a mayor profundidad > 30 cm, en banda o cerca de las raíces), entre otras. La dosificación del biochar debe ser de acuerdo a los resultados del análisis físico, químico y biológico del suelo. Además, no es necesario aplicarlo repetidamente en un cultivo como en el caso de abonos o compostas, ya que su efecto perdura en el suelo debido a su recalcitrancia (Mayor, 2010).

1.2.1.13 Potencial del biochar,

Es la capacidad del biochar para retener carbono en el suelo por periodos largos de tiempo es decir que la cantidad de carbono lábil respecto al recalcitrante influye en la calidad del biochar; si su potencial de secuestro de carbono es elevado diremos que es de buena calidad, para lo cual se debe analizar el ciclo de vida del biochar y su vida útil, el primero hace referencia a las reducciones en las emisiones de GEI en diversas magnitudes, esto dependiendo del tipo de materia prima y el sistema empleado para producir biochar (De Gryze et al.,2010), es posible disminuir las emisiones de carbono equivalente de CO₂ en el orden de 1.8 Pg CO₂-C_e anualmente, y 130 Pg CO₂-C_e en un siglo (Woolf et al.,2010).

1.2.1.14 Biochar en comparación al compost

El biochar es considerado como un acondicionador del suelo, suministra y retiene los nutrientes, mejorando sus propiedades físicas, químicas y biológicas, por consiguiente, su fertilidad (Glaser et. al., 2002), libera importantes cantidades de fósforo y otros nutrientes esenciales como el azufre, aumenta la densidad aparente, la capacidad de intercambio catiónico por su alta superficie específica (Glaser et al., 2002), mejora la capacidad de retención del agua, reduce la lixiviación de nutrientes (Laird et al., 2010); así mismo, reduce el efecto tóxico, de contaminantes orgánicos como inorgánicos (Houben et al., 2013) durante el proceso de pirólisis se genera calor y gases que pueden ser capturados para producir electricidad, bioaceites e hidrógeno, finalmente reduce los GEI como el CO₂ y óxido nitroso, por ser sumidero potencial de carbono,

La producción del compost es relativamente económica, aporta una buena cantidad de humus al suelo, el material transformado es biológicamente estable y adquiere una relación C/N, reduce las características fitotóxicas de los residuos utilizados, reduce notablemente el contenido de patógenos en los desechos tratados, mientras que las desventajas son: pérdida de nutrientes en la etapa inicial de oxidación, es degradado de manera rápida por los

microorganismos y lavado en gran medida por las precipitaciones, presenta malos olores (gas amoníaco y ácido sulfhídrico) si no hay buena aireación, también genera GEI como: CH₄, óxido nítrico, CO₂ y bioaerosoles que son partículas microscópicas en suspensión que pueden afectar a la salud ,finalmente se requiere mayor trabajo y cuidados en el manejo de los materiales en la pila, precisamente todas estas desventajas motivaron que se implemente una planta pirolizadora en aguas calientes del distrito de Machupicchu la cual cuenta con una tecnología moderna y acorde a la realidad de Machupicchu, pues este al tener varias denominaciones como: “Patrimonio Cultural y Natural de la Humanidad, Santuario Nacional de Machupicchu y Maravilla del Mundo Moderno” no podía tratar sus residuos sólidos orgánicos mediante el compostaje por las evidentes desventajas que mencionamos líneas arriba.

1.2.1.15 Sostenibilidad y ambiente

En el año 2015 en París se llevó a cabo la conferencia denominada COP21, para aprobar la agenda 2030, donde se sustituyeron los objetivos del milenio por 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), que consideran tres temas fundamentales como son: el crecimiento económico, inclusión social y protección ambiental (ONU, 2018), cuyos objetivos planteados no siguen ningún orden prioritario ya que todos se encuentran relacionados entre sí. Tomando en consideración la parte ambiental, se plantearon políticas para reducir la generación de gases de efecto invernadero (GEI) del sector agrícola, ya que este es responsable del 14 % de las emisiones (FAO, 2017).

Es fundamental desarrollar investigaciones sobre el uso del biochar en la agricultura, (Segura, 2018) para garantizar el cumplimiento de algunas ODS como son: ODS 2(Poner fin al hambre, lograr la seguridad alimentaria, mejora de la nutrición y promover la agricultura sostenible), ODS 12 (Producción y consumo responsables) y ODS 13 (Adoptar medidas para combatir el cambio climático).

1.2.2. Sustancias Humicas

El suelo recibe restos orgánicos de plantas superiores, que pueden caer en su superficie (hojas, ramas, flores y frutos) o quedar enterrados (raíces). También recibe restos del plasma microbiano y de la fauna del suelo. Estos materiales son rápidamente transformados por macro y microorganismos que los utilizan como fuente de energía. Una fracción pequeña de la materia orgánica del suelo está constituida por carbohidratos, aminoácidos, ácidos alifáticos, proteínas, grasas, etc y en su mayor parte están formadas por las llamadas sustancias húmicas, que son una serie de compuestos de alto peso molecular (Pimienta, 2004).

Estas sustancias húmicas han sido divididas en grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas y básicas concentradas: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas.

1.2.2.1. Ácidos húmicos

Sustancias orgánicas de color oscuro soluble en base e insoluble en ácidos, por lo tanto, es extraído del suelo con álcalis (base) y otros reactivos, que se precipitan cuando el pH disminuye por debajo de 2. Los ácidos húmicos presentes en el suelo se componen de una mezcla de moléculas orgánicas complejas formadas por descomposición y oxidación de la materia orgánica. Las sustancias húmicas actúan principalmente sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. El efecto biológico de estas sustancias en el suelo es favorecer los procesos de mineralización, el desarrollo de la cubierta vegetal, servir de alimento para microorganismos y estimular el crecimiento de la planta.

La acción de los ácidos húmicos en las plantas se resume en lo siguiente:

- Trasladan los nutrientes desde las raíces hasta la parte aérea de las plantas y del exterior de la hoja hasta los sitios de acumulación.
- Incrementa la permeabilidad de las membranas y favorecen los procesos energéticos de las plantas relacionadas con la respiración.
- Son activadores y estabilizadores de algunas enzimas, además de estimular

algunas reacciones, procesos y funciones bioquímicas y fisiológicas de la planta.

- Acelera la germinación de las semillas e incrementa su porcentaje de germinación y uniformidad bajo circunstancias adversas.
- Incrementan la biomasa total de la planta, peso fresco y peso seco (Pimienta, 2004).

1.2.2.2 Ácidos fúlvicos

Los ácidos fúlvicos son moléculas, extremadamente complejas, solubles en agua, ya sea a pH ácido o básico, estos reflejan la naturaleza de las plantas y especies de los microorganismos que les dieron origen durante el proceso de humificación. Los ácidos fúlvicos, así como los ácidos húmicos actúan de manera similar en el suelo, ya que ambos incrementan la velocidad de germinación de las semillas y estimulan la proliferación de la microflora presente en el suelo (Balbuena & Osorio, 2023).

Las sustancias fúlvicas, al igual que las húmicas, son originadas de la materia orgánica, entre las principales propiedades que se les atribuye se encuentra la de mejorar la estructura del suelo reduciendo la compactación, aumentar la capacidad de retención de agua, facilitar la absorción de nutrientes y disminuir las pérdidas por lixiviación, que producen efectos benéficos en las plantas en condiciones adecuadas de nutrición vegetal. Además, las sustancias fúlvicas al aplicarse al suelo y plantas, estimulan el crecimiento vegetal y permiten reducir las dosis de varios agroquímicos al incrementar la eficiencia de su asimilación, transporte y metabolismo (Pimienta, 2004).

1.2.2.3 Ácidos Fúlvicos, húmicos en el biochar y su impacto en el suelo y la planta.

Los ácidos húmicos y fúlvicos presentes en el biochar actúan como bioestimulantes del crecimiento agrícola, así mismo contribuyen alrededor del 85-90% de carbono orgánico total y son el principal componente de la materia orgánica del

suelo. Desempeñan un importante papel en la retención de cationes, reserva de nutrientes a los cultivos, masa microbiana y en la estabilidad de agregados. Esta última, interfiere en la infiltración, retención de agua y aeración del suelo. Así, constituyen un componente fundamental de la capacidad productiva de los suelos (Tolentino, 2020).

El biochar contribuye al almacenamiento de carbono en el suelo por un largo plazo por lo que las huminas son los componentes más estables, así mismo podemos indicar que el biochar es efectivo para mejorar el suelo y aumento de carbono mostrando variaciones en sus contenidos de ácidos fúlvicos, húmicos y huminas (Balbuena & Osorio, 2023).

Materia prima.

A. Generación de residuos sólidos municipales

La materia prima usada para elaborar los biocarbones y las reacciones químicas que ocurren en el proceso de su obtención definen las características estructurales y químicas específicas para los biocarbones dando origen a materiales muy heterogéneos (Antal & Grønli, 2003). Esto se debe a que los componentes orgánicos que conforman la biomasa original influyen directamente en las propiedades químicas y físicas del biocarbón, lo cual se traduce en la determinación de la calidad del biocarbón definiendo a su vez los efectos benéficos y tiempo de residencia de este en el suelo (Lehmann, 2007) Entre los materiales más utilizados se tienen a los residuos de cosecha, plantas secas, biomasa de árboles, desechos de papel, de arroz; los residuos de aceituna, madera, estiércol, hojas de plantas, residuos de cultivos (Lehmann & Joseph, 2009), también a partir de camas de aves, algas, cáscaras de naranja, de nueces y lodos residuales (Escalante et al., 2016), estos últimos debido a las altas temperaturas a la que es sometida la biomasa garantiza la ausencia de gérmenes que pudieran resultar perjudiciales para el hombre, animal o cultivos, propiciando una alternativa de solución

al depósito de lodos residuales (Escalante et al., 2016), finalmente también podemos obtener biochar a partir de los residuos sólidos orgánicos (objeto de estudio), para su aplicación en terrenos agrícolas como mejorador del suelo de cultivo y mejorador de la producción de cultivos como *Raphanus sativus* L., además de proponer una alternativa de solución al tratamiento adecuado de este tipo de residuos. Generación de residuos sólidos municipales de Machupicchu pueblo.

Se inicia con la recolección selectiva en fuente de residuos sólidos de origen domiciliario y no domiciliario de Machupicchu pueblo (Aguas Calientes) que los pobladores segregan correctamente en dos tipos de saquillos (verde oscuro de medidas 1.00 m x 0.70 m y verde claro de medidas 0.80 m x 1.20 m), en donde los residuos sólidos de procedencia inorgánica se segregan en los saquillos de color verde oscuro, mientras que los residuos de procedencia orgánica en los saquillos de color verde claro; donde se recolecta principalmente residuos de cocina procedentes del mercado de abastos, restaurantes y viviendas, también a ello se suma los restos de poda y limpieza de parques y jardines. Tanto los residuos inorgánicos como los orgánicos son trasladados mediante carretillas hasta la planta de transferencia donde se hace el pesaje para determinar la cantidad exacta de residuos sólidos valorizables, posterior a ello son trasladados hasta un vehículo para ser transportados a las dos plantas de valorización que se encuentran en diferentes lugares; la primera viene a ser la planta de valorización de residuos sólidos inorgánicos ubicado en Machupiccu pueblo, los cuales son compactadas para ser comercializadas, la segunda es la planta de valorización de residuos sólidos orgánicos ubicado en el puente ruinas que viene a ser la planta pirolizadora, de acuerdo al estudio que venimos realizando daremos más énfasis en la segunda planta de valorización de residuos orgánicos, debido a que de allí se obtuvo la materia prima para la producción de biochar (Estudio de Valorización de Residuos

Sólidos Orgánicos Municipales de la Municipalidad Distrital de Machupicchu, 2019).

A continuación, se describe el proceso de producción del biochar que lo consideramos necesario ya que la composición de la materia prima, intervalo de calentamiento, y temperatura definen las propiedades físicas y químicas del biochar.

Figura 8.
Generación de residuos sólidos municipales de Machupicchu pueblo



RSO: Residuos sólidos orgánicos

RSI: Residuos sólidos inorgánicos

Figura 9.

Generación y tratamiento de residuos sólidos orgánicos municipales en Machupicchu pueblo.



a) Composición física de residuos sólidos municipales de Machupicchu pueblo.

Los residuos sólidos valorizables de origen domiciliario y no domiciliario representan el 88.01% del total de residuos, de los cuales el 61.48% representa los residuos sólidos orgánicos (Estudio de Caracterización de Residuos Sólidos Municipales de la Municipalidad Distrital de Machupicchu, 2019).

Tabla 2.*Composición física de residuos sólidos domiciliarios de Machupicchu pueblo*

Tipo de Residuo Sólido	Composición domiciliaria							Total	Composición porcentual %
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7		
1. RESIDUOS APROVECHABLES	25.84	27.5	26.95	24.7	23.9	24.1	24.2	167.24	79.36
1.1. Residuos orgánicos	19.01	19.1	18.85	18.5	17.35	18.2	18.5	129.56	61.48
Residuos de alimentos (resto de comida, cáscaras, restos de frutas, verduras, hortalizas y otros similares)	18.8	19	18.65	18.2	17.2	18	17.9	127.75	60.62
Residuos de maleza y poda (restos de flores, hojas, tallos, grass y similares)	0.2	0.15	0.2	0.3	0.15	0.2	0.6	1.8	0.85
Otros orgánicos (estiercol de animales menores, huesos y similares)	0.01								
1.2. Residuos Inorgánicos	6.83	8.4	8.1	6.2	6.55	5.9	5.7	37.68	17.88

Nota: (Estudio de caracterización de residuos sólidos municipales de la municipalidad distrital de Machupicchu, 2019)

b) Valorización de residuos sólidos orgánicos municipales de Machupicchu pueblo.

Una vez que llegan los residuos sólidos de procedencia orgánica a la planta pirolizadora se realiza una preselección en la mesa de segregación, esto con la finalidad de poder separar los residuos sólidos no valorizables que se encuentren presentes, posterior a ello los residuos se triturarán en la máquina trituradora para que sean más homogéneos y pequeños, luego son trasladado a la máquina deshidratadora con la finalidad de extraer la totalidad de líquidos, después se procede a secar los residuos en la maquina secadora con la finalidad de eliminar la humedad aun existente a una temperatura de 270°C y hasta obtener una humedad menor al 15% , esto con la finalidad de facilitar el pirolizado, luego se traslada los residuos al horno pirolizador, al cual se le añade alcohol y residuos secos procedentes de la poda y limpieza de áreas verdes de Machupicchu pueblo con la finalidad de alcanzar la capacidad máxima del pirolizador que actualmente es de 300 kg, es decir que se obtendrá esta cantidad de biochar a partir de 7800 kg de residuos sólidos orgánicos vegetal fresco, finalmente se procede a la pirolización de los residuos sólidos ya secos en el horno pirolizador a una temperatura de 560°C, durante 2h y 40 minutos esto para obtener como producto final al biochar, el cual debe de

enfriarse de forma rápida para que merme la humedad que ha adquirido durante el enfriamiento, posterior a ello se procede al almacenado del biochar.

Figura 10.

Producción de biochar mediante pirólisis lenta en la planta valorizadora (pirolizadora)

PRODUCCION DEL BIOCARBON



↑
SEGREGACIÓN Y PESADO DE
RESIDUOS VALORIZABLES

**TRITURACIÓN -
DESHIDRATACIÓN
(LADOS) - BIODIGESTORES**



↑
SECADO

PIRÓLISIS



1.2.3 *Raphanus sativus* L:

Pertenciente a la familia de las Brassicáceas, su característica principal es tener sus hojas grandes, tallo de hasta 30 centímetros aproximadamente, con flores blancas o amarillentas y una raíz carnosas. Se cultiva en casi todo el mundo ya que esta hortaliza tiene una gran capacidad de adaptación; donde presenta una característica peculiar el (picor de la raíz), de acuerdo a la variedad la raíz puede ser de color blanco, rojo o negro (Solisor, 2021).

1.2.3.1 Origen.

Se dice que el origen de los Rabanitos fue en China, aunque este es un dato que no se ha determinado de forma concluyente. Sin embargo, se sabe que hace más de cuatro mil años los egipcios y babilonios ya lo consumían. En China y Corea comenzó a consumirse en los años 400 a.c (Vera, 2012).

1.2.3.2 Clasificación taxonómica.

Clasificación taxonómica según: APG IV (2021)

- Reino: Plantae
- Clase: Magnoliopsida
- Orden: Brassicales
- Familia: Brassicaceae
- Género: *Raphanus* L
- Especie: *Raphanus sativus* L.

1.2.3.3 Descripción botánica.

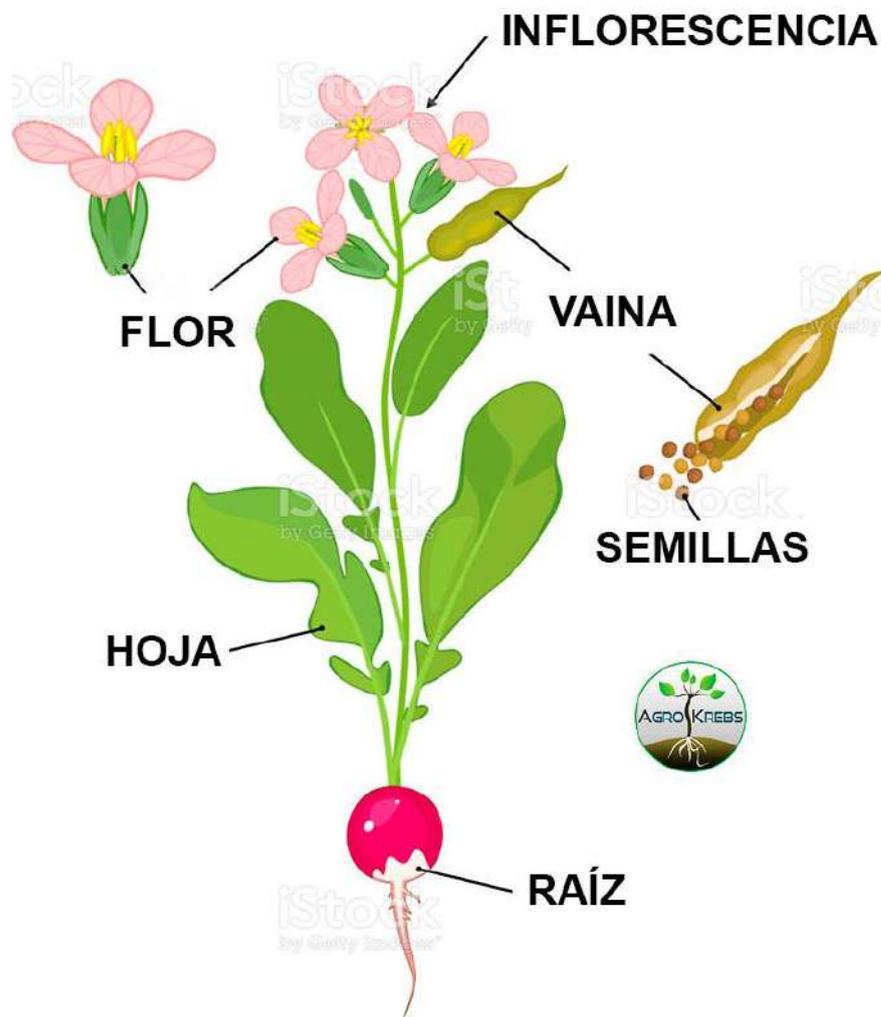
El rabanito es una hortaliza que tiene las hojas enteras o también divididas, tallo ramoso con vellos rígidos en la parte inferior, de hasta 30 cm de altura donde las hojas forman un racimo desde la parte de arriba de la raíz, y lampiño en la superior, donde las hojas suelen brotar lanceoladas, con hendiduras más o menos pronunciadas. Las flores

se agrupan en racimos abiertos grandes y alargados, de color blanco, amarillo (FAO, 2014).

La corola es blanquecina, también puede ser de color violeta o amarillo. Se reproduce por semillas. La cosecha se realiza a partir de la tercera y sexta semana después de la siembra y dependiendo del clima, suelo, luz solar, agua y nutrientes

Figura 11

Partes de la planta de Rabanito (Raphanus sativus L)



Nota: (Agrokrebs, 2020)

1.2.3.4 Partes del *Raphanus sativus* L.

A. Raíz.

Raphanus sativus L, es un cultivo que presenta un sistema radical poco desarrollado, sus raíces pueden encontrarse a una profundidad entre los 5 a 25 cm., en algunas ocasiones la raíz principal puede llegar a tener una profundidad de un metro y las laterales hasta de 90 cm.

Durante el desarrollo vegetativo del cultivo se forman raíces tuberosas a partir de la parte superior de la raíz y del hipocótilo. Estas pueden ser de forma redonda, fusiformes, alargadas, ovaladas y cónicas, el color de la superficie de la corteza puede ser blanco, rojo, amarillo, negro, etc. dependiendo de la variedad (Nasevilla, 2010).

B. Tallo.

Durante la fase vegetativa el tallo de *Raphanus sativus* L. suele ser corto, con hojas que forman una corona, luego se alarga llegando a medir entre 80 y 120 cm. de altura, de color verde y de forma variable cilíndrica (Nasevilla, 2010).

C. Hojas.

Las hojas son de pecíolo largo y de forma ovalada, de borde dentado y el ápice más grande, con unos pocos pelos, con 1-3 pares de segmentos laterales de borde irregularmente dentado, el color que predomina es el verde intenso (Nasevilla, 2010).

D. Flor.

Dispuestas sobre pedicelos delgados ascendentes, en racimos grandes y abiertos; sus sépalos son erguidos; los pétalos pueden ser de color blanco, rosado, violeta y en algunas ocasiones amarillos, tiene 6 estambres libres, estilo delgado con un estigma ligeramente lobulado. Generalmente el *Raphanus sativus* L. es cosechado antes de que llegue a la fase

reproductiva, sin embargo, para la producción de semilla si es necesario que produzcan flor (Nasevilla, 2010).

E. Fruto.

El fruto es silicua indehisciente de 3-10 cm de longitud, esponjoso, con un pico largo, semillas globosas o casi globosas, rosadas o castaño-claras, con un tinte amarillento, cada fruto contiene de 1 a 10 semillas. Bajo buenas condiciones de almacenamiento las semillas pueden conservarse de 3 a 4 años (Nasevilla, 2010).

F. Semilla.

La semilla tiene forma esferoidal, de color variando desde marrón a castaño claro a marrón oscuro. Bajo buenas condiciones de almacenamiento las semillas pueden conservar su viabilidad por 3 a 4 años (Mendez, 2019).

1.2.3.5 Tipos y variedades.

Segun (Agromeat, 2009) estas serían algunas variedades de *Raphanus sativus* L. que se cultivan:

A. Crimson Giant.

De raíz grande y de forma redonda, con pulpa suave y crujiente, puede cosecharse a los 30 días después de siembra.

B. Cherry Belle.

Con raíz pequeña de forma redonda, de pulpa sólida y de consistencia suave, con follaje muy pequeño, puede cosecharse a los 25 días después de siembra.

C. Champion.

Con raíz grande de forma ovalada, de pulpa sólida y consistencia suave, de follaje

pequeño, puede cosecharse a los 28 a 35 días después de la siembra.

1.2.3.6 Características Agronómicas de la Variedad Champion.

En el presente estudio de investigación se optó por la variedad Champion, cuyas características las detallamos a continuación en la Tabla 3.

Tabla 3.

Características Agronómicas de la variedad Champion

Nº de hojas	Moderado
Forma de hojas	Alargada con lóbulos
Tamaño de la raíz	Mediana 2 a 3 cm
Peso de la raíz	20 a 25 gr
Color de la piel	rojo intenso
Color interior	Blanco
Ciclo vegetativo	45 días de la siembra
Rendimiento	10 Tn/ha
Cantidad de semilla	8 kg/ha

Nota: Tito M., 2005

Figura 12

Raphanus sativus L. variedad *Champion*



Nota: (Tito M., 2005)

1.2.3.7 Requerimientos Ecológicos.

Si bien el *Raphanus sativus* L. prefiere los climas templados, puede ser cultivado durante todo el año, teniendo en cuenta que hay que proteger a los cultivos durante las épocas de elevadas temperaturas. El ciclo del cultivo depende de las condiciones climáticas, pudiéndose encontrar cultivos que completaron su ciclo en 20 días y otros en 70 días (Sanchez, 2018).

A. Clima.

Raphanus sativus L. puede sembrarse durante todas las épocas del año. Pueden cultivarse tanto en clima frío como en cálido (Cando, 2016).

B. Humedad relativa.

La humedad relativa óptima para el desarrollo de *Raphanus sativus* L. se encuentra entre el 60% a 80%. Aunque en determinados momentos puede soportar menos del 60 % (Nasevilla, 2010), ya que es muy exigente a la humedad del suelo, si esto no sucede se afecta la calidad de las raíces carnosas las que se tornan duras y pierden consistencia (Carrera, 2015).

C. Temperatura.

Al cultivo se le debe proteger cuando haya elevadas temperaturas, así que se prefiere cultivar en climas templados (Cando, 2016).

Raphanus sativus L. responde a la interacción entre la temperatura y la intensidad de la luz en diferentes etapas de crecimiento y desarrollo. Germina mejor a los 25°C, y lentamente de 2 a 3 ° C (Carrera, 2015).

D. Luz.

Raphanus sativus L. requiere de mucha luz, son muy exigentes con respecto a ello, son plantas de días largos. Los días muy cortos no son propicios para su desarrollo, por este motivo, en este periodo las raíces carnosas pierden consistencia y esto hace que pierda su rendimiento (Carrera, 2015). Una luminosidad deficiente durante la formación de los tubérculos influye favorablemente en la calidad de las mismas. Por lo contrario, un exceso de luz en las mismas produce un suavizado en estas y hacen que se deprecien sensiblemente (Cando, 2016).

E. Suelo.

Requiere de suelos de buena textura y retención de humedad, aunque pueden cultivarse en suelos ligeros, arenosos y areno - arcilloso (Carrera, 2015). El pH debe oscilar entre 5,5 y 6,8, no tolera la salinidad elevada (Sinavimo, 2013).

1.2.3.8 Plagas y enfermedades.

El cultivo de *Raphanus sativus* L. puede sufrir las mismas enfermedades y plagas que otras brasicáceas (Vincent, 2013).

Según (Otero, 2021) estas serían las plagas y enfermedades de los rabanitos:

A. Pulgones.

Son de pequeño tamaño (1-3 mm de longitud) y pueden presentar diversos colores según la especie a la que pertenezcan. Atacan a los brotes jóvenes de cultivos con alto contenido en azúcares. Las larvas causan daños al hacer galerías en las hojas de las plantas.

B. Mosca blanca.

Se localizan generalmente en el envés de las hojas. Les agrada la humedad y las temperaturas altas, por lo que es una plaga frecuente en primavera y verano. Los principales daños que causan a los cultivos son: extracción de savia de la planta, daños mecánicos, producen melaza, algunas especies son vectores de enfermedades.

C. Oruga de la col (*Pieris brassicae*).

La mariposa de la col, *Pieris brassicae*, es un lepidóptero de unos 5 cm o 6 cm, de color blanco y con manchas negras. Suele alimentarse de la familia de las crucíferas (Brassicaceae), es decir de: repollos, coliflores, rabanitos, coles de bruselas, etc.

D. Rosquilla negra.

El nombre científico de este lepidóptero es *Spodoptera littoralis*. Es una oruga que se alimenta principalmente de las hojas interiores. A lo largo del día se esconden y por la noche es cuando se alimentan. Normalmente la puesta la

realizan en la parte aérea de la planta, en el envés de las hojas. Cuando se convierten en mariposas ya no hacen ningún daño.

E. Mildiu.

Enfermedad que produce en las hojas manchas de aspecto grasiento de diferentes tonalidades, que luego se vuelven marrones y se marchitan.

1.2.3.9 Fisiopatías

Según (Infoagro, sf) indica que *Raphanus sativus* L. puede ser ahuecado o acorchado, donde se torna de textura dura y fibrosa, esto debido a la sobre maduración y por cultivar en suelos demasiado ligeros o con déficit hídrico, así mismo puede adquirir un sabor picante debido a un exceso de calor durante el cultivo.

1.2.3.10 Manejo del cultivo

A. Siembra.

Se siembra al voleo, utilizando 2 gramos de semilla por m² y 1 a 1,5 cm de profundidad. Es aconsejable sembrar en pequeñas superficies de acuerdo al consumo, aunque la forma más recomendable de sembrar es en líneas o surcos, asociados con cultivos más lentos en su crecimiento como espinaca, zanahoria, etc (Goites, 2008).

B. Riego.

Por ser cultivos que se desarrollan con gran rapidez, necesitan una buena cantidad de agua, distribuida uniformemente y con lapsos de riego bien ajustados. La humedad del suelo deberá encontrarse entre un 60% a 65% de la capacidad del campo durante el ciclo vegetativo.

La falta de agua ocasiona que la raíz se vuelva más dura y si ésta es acompañada por altas temperaturas se estimula la floración anticipada. Por otro lado,

cuando hay oscilaciones extremas de humedad en el suelo, las raíces se agrietan, perdiendo su calidad comercial. Se recomienda regar regularmente cada 3-5 días en caso de ausencia de lluvias (Nasevilla, 2010).

C. Deshierbe y manejo de plagas.

El deshierbe se debe de realizar periódicamente, mientras que el manejo de plagas se debe de realizar para evitar presencia de insectos como: mosca blanca, minador, mosca esciárida, trips y pulgones y hormigas.

D. Cosecha.

Debe realizarse en el momento oportuno, ya que, si los rabanitos se dejan en suelo por más tiempo, se endurecen, crecen y se ahuecan. El ciclo según la época es de 20-30 días, debiendo cosecharse al alcanzar un diámetro de 2 a 3 cm, evitando un mayor desarrollo para que el sabor sea más suave (Goites, 2008).

1.2.3.11 Composición nutricional.

100 gr de parte comestible (raíz) contienen los siguientes nutrientes que muestra la Tabla 4.

Tabla 4.

Composición nutricional del Raphanus sativus L.

Compuesto	Cantidad
Agua	94 g
Carbohidratos	3.59 g
Grasas	0.54 g
Proteínas	0.6 g
Fibra	1.6 g
Cenizas	0.54 g
Calorías	20
Calcio	21 mg
Magnesio	9 mg
Potasio	232 mg
Fósforo	18 mg
Sodio	24 mg
Hierro	0.29 mg
Tiamina	0.005 mg
Riboflavina	0.045 mg
Niacina	0.3 mg
Ácido ascórbico	22 g

Nota. (FAO, 2014)

CAPÍTULO II

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Área de Estudio

El estudio se realizó con suelos de cultivo agrícola en el invernadero de la Institución Educativa (I.E) Monteverde, del sector de Ticapata en el distrito de San Sebastián provincia Cusco, región Cusco.

Coordenadas UTM:

Zona: 19 L

185658 m E

8502672 m N

Altitud: 3323 msnm

2.1.1 Accesibilidad:

Es accesible desde la ciudad del Cusco por la pista asfaltada de la Av. La Cultura paradero ENACO, tomando la dirección norte para hacer un recorrido de 3 km hasta llegar al sector de Ticapata, lugar donde se encuentra el invernadero de la I.E. Monteverde.

Figura 13.

Imagen Satelital del invernadero de la IE Monteverde



2.2 Materiales

2.2.1 *Material Biológico*

- Semilla certificada de rabanito (*Raphanus sativus* L.) de la marca hortus.

2.2.2 *Materiales y equipos de campo (Invernadero)*

- Suelo agrícola
- Libreta de campo
- Plumón indeleble
- Bolsas de cierre hermético
- Bolsas de papel
- Cinta métrica metálica
- Jarra medidora
- Guantes y barbijo
- Botas de jebe
- Macetas de 4L de capacidad
- Etiquetas
- Trampas monocromáticas para insectos
- Pala
- Sacos de polietileno
- Zaranda
- Balanza digital marca SF-400
- Termómetro e higrómetro ambiental marca DYWSJ, modelo TH001
- Higrómetro manual
- Cámara Fotográfica marca CANON, modelo EOS Rebel T7 - COMBO 61.

- GPS marca GARMIN, modelo Etrex 32X Topo Active 010-02257-03.

2.2.3 Materiales, equipos de laboratorio y gabinete:

- Cuaderno de apuntes
- Calculadora
- Software especializado: Paquete estadístico: R, Past, ArcGis, Excel.
- Horno marca COTECNO
- Balanza digital marca PRECISUR
- Balanza analítica marca HENKEL
- Triángulo textural
- Computadora (laptop)
- Impresora marca CANON

2.3 Metodología

2.3.1 Tipo de Investigación:

El presente trabajo de investigación es de tipo experimental, con una duración de 48 semanas. El enfoque de la investigación es cuantitativo basado en la definición dada por Hernández (2014) donde indica que el enfoque cuantitativo se utiliza para la recolección de datos para probar la hipótesis general que hace referencia a la aplicación de biochar procedente de la pirólisis de residuos sólidos orgánicos municipales para conseguir efectos significativos en el mejoramiento del suelo y la producción de *Raphanus sativus* L. en condiciones de invernadero.

2.3.2 Diseño de investigación:

Se empleó un diseño (DBCA), controlado, con 4 tratamientos: (0% - sin

biochar), (5%, 10% y 15%) de biochar y 8 repeticiones por tratamiento (dos individuos por maceta), haciendo un total de 64 unidades experimentales, bajo condiciones de invernadero como se muestra en la Figura 18.

2.3.3 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL BIOCHAR.

La materia prima empleada para la obtención del biochar utilizado en el presente estudio de investigación proviene del proceso de pirólisis de los residuos sólidos orgánicos municipales de Machupicchu pueblo (Aguas Calientes) y cumple la característica de “no competir con otros usos, más aún si éstos son de mayor valor económico que el biochar, o bien que compitan con la producción de alimentos de bienes y servicios ambientales” (Escalante et al., 2016), de esta manera se evita la erosión de suelos, pérdida de funcionalidad de estos por causa de cambios de uso de suelo, de la deforestación y plantaciones masivas para el cultivo de biomasa destinada a ser pirolizada para la producción de biochar, con todo lo anteriormente señalado podemos indicar que la producción de biochar a partir de los residuos sólidos orgánicos municipales de Machupicchu pueblo (aguas calientes) se da de manera sostenible y responsable. También es importante mencionar que la tecnología utilizada para su producción es adecuada y moderna que asegura la no liberación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) u otras sustancias como hollín y dioxinas que pueden ser nocivas para la salud (Woolf et al., 2010).

La Sub Gerencia de Gestión Ambiental de la municipalidad distrital de Machupicchu, nos facilitaron el ingreso a la planta valorizadora de residuos sólidos orgánicos ubicada en el sector de Puente Ruinas para conocer todo el proceso de obtención de biochar mediante la pirólisis de residuos sólidos orgánicos municipales nos proporcionaron en calidad de donación 20 kg de biochar, que fueron registrados en la ficha de recolección de datos para biochar, donde se precisa la fecha de elaboración del mismo, el cual se encuentra adjunto en anexos.

Para el presente estudio de investigación se utilizaron 12 kg, los cuales fueron trasladados por vía férrea desde Machu Picchu hasta el sector de Pachar y de allí por vía terrestre hasta el invernadero de la I.E.P Monteverde, donde se desarrolló la parte experimental.

Tomando las respectivas medidas de bioseguridad (uso de barbijo y guantes), se tomó una muestra de biochar de (1kg), para su análisis correspondiente en el laboratorio de agua y suelos MCQUIMILAB y determinar los parámetros con sus respectivas metodologías establecidas en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual “The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS como se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5.

Parámetros analizados y metodología utilizada para determinar las características físicas y químicas del biochar

	Parámetro	Unidad	Metodología
1	Humedad	%	Gravimétrico (6.4)
2	PH		Instrumental (5.8a)
3	Conductividad eléctrica	µs/cm	Medición con conductometro
4	Ceniza	%	Norma UNE32004
5	Carbono orgánico total	%	Calcinación (5.7a)
6	Nitrógeno Total N	%	Kjendahl (5.6b)
7	Potasio intercambiable	mg/100	Emisión (5.10)
8	Fósforo Disponible P ₂ O ₅	mg/100	Molibdato de amonio(5.9a)
9	Calcio	%	Titulación complexométrica con solución EDTA a pH12,
10	Magnesio	%	Complexometría con solución de EDTA a pH = 8
11	Cloruros	%	Método Peech,
12	Sodio	%	Fotometría

- ***Determinación de la Humedad.*** La humedad de la muestra representa el contenido de agua y aire presentes. El método se basó en la eliminación de la humedad contenida en el biochar mediante secado en horno a 105°C, durante 24 h y por diferencia de peso se calculó el porcentaje de agua.
- ***Determinación del pH.*** Para la determinación del pH, se calibró el pH metro de acuerdo a las instrucciones del manual respectivo con solución de pH, conocida de (7.15), finalmente se midió el pH.
- ***Determinación de la conductividad eléctrica.*** Se realizó mediante potenciometría, haciendo uso de un conductímetro previamente calibrado, y luego se midió.
- ***Determinación de la ceniza.*** Se determinó según la norma UNE 32004. Para ello, se pesaron de 1 a 2 gr. de la muestra, previamente secada al aire y pasada por un tamiz de 0,2 mm. Se colocó la cápsula en el horno frío y se elevó la temperatura hasta 500°C en 30 minutos, después se continuó el calentamiento hasta una temperatura final de 815±10°C, en otro período adicional de 30 a 60 minutos hasta peso constante. La diferencia del peso inicial y final es el peso en cenizas de la muestra.
- ***Determinación del carbono orgánico total.*** La determinación del carbono orgánico total se realizó por el método de pérdida de peso por ignición (LOI). El método se basa en la ignición de una porción del biochar seco y molido en un horno de mufla a 400°C. A esta temperatura se produce la pérdida de la materia orgánica del biochar en forma gaseosa, principalmente como CO₂ y vapor de agua (Schulte & Hopkin, 1996).
- ***Determinación de Nitrógeno Total.*** Se determinó utilizando el método Kjeldahl (Sanchez, 2004).

- ***Determinación de potasio disponible.*** Se determinó por el método de emisión atómica, se fundamenta en el equilibrio que se establece entre una solución extractora de acetato de amonio y la muestra del suelo donde se efectúa este intercambio. Para este intercambio catiónico se utiliza $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1N y neutro. El catión K^+ se determina en la solución extractora por espectrofotometría de emisión atómica.
- ***Determinación de Fósforo disponible.*** Se determinó por el método solución extractora de Olsen modificada del filtrado del resultado, se midió la absorbancia de la solución en el espectrofotómetro a 720 nm, teniendo como referencia un blanco corrido paralelamente a la muestra (Sanchez, 2004).
- ***Determinación del calcio.*** Se utiliza el método de titulación complexométrica con solución EDTA PH 12, en presencia del indicador interno ácido calcón carboxílico. A este pH los metales alcalinos y alcalino-térreos, excepto el calcio se pre-cipitan como hidróxidos.
- ***Determinación del magnesio.*** La determinación es también por complexometría con solución de EDTA a pH = 8, en presencia de indicador interno negro de eriocromo T y se opera simultáneamente para el calcio y magnesio. Conociendo el contenido de calcio por la determinación precedente, el de magnesio resulta por diferencia.
- ***Determinación del sodio.*** Se hizo la lectura en el fotómetro. El sodio y potasio en pequeñas cantidades son difíciles de determinar por métodos analíticos químicos, sin embargo, la fotometría de llama permite conocer, con exactitud contenido inferiores a una parte por millón (ppm) de sodio y potasio en suelos.

2.3.4 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DEL SUELO ANTES Y DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DEL BIOCHAR.

Para determinar las características físicas y químicas del suelo, primero se identificaron parcelas representativas en las zonas de cultivo aledañas. Una vez seleccionadas, se procedió a la recolección de la muestra de suelo, para luego ser llevados para su análisis respectivo al laboratorio: “MCQUIMILAB”.

A. Determinación de las características físicas y químicas del suelo antes de la aplicación con biochar.

Una vez que se homogenizo y zarandeo la tierra de las parcelas agrícolas aledañas, antes del llenado de las macetas se tomó una muestra representativa de 1.00 Kg. de suelo agrícola del lugar, antes de la aplicación de biochar tomando como metodología la técnica del cuarteo (Vitorino, B. 1988), se colocó todo el suelo agrícola sobre un saquillo limpio, se dividió en cuatro partes iguales y se separó una de ellas, de esta fracción obtenida, se procedió a dividirla en 4 partes iguales para separar la cuarta parte y llevarla al laboratorio muestra que fue remitida al laboratorio en una bolsa ziploc debidamente etiquetada, para su respectivo análisis para la caracterización física y química, donde los parámetros analizados y metodologías utilizadas se describen en la Tabla 6.

Tabla 6.

*Parámetros analizados y metodología utilizada para determinar la composición física y química del suelo antes de la aplicación de biochar y después de la cosecha de *Raphanus sativus L**

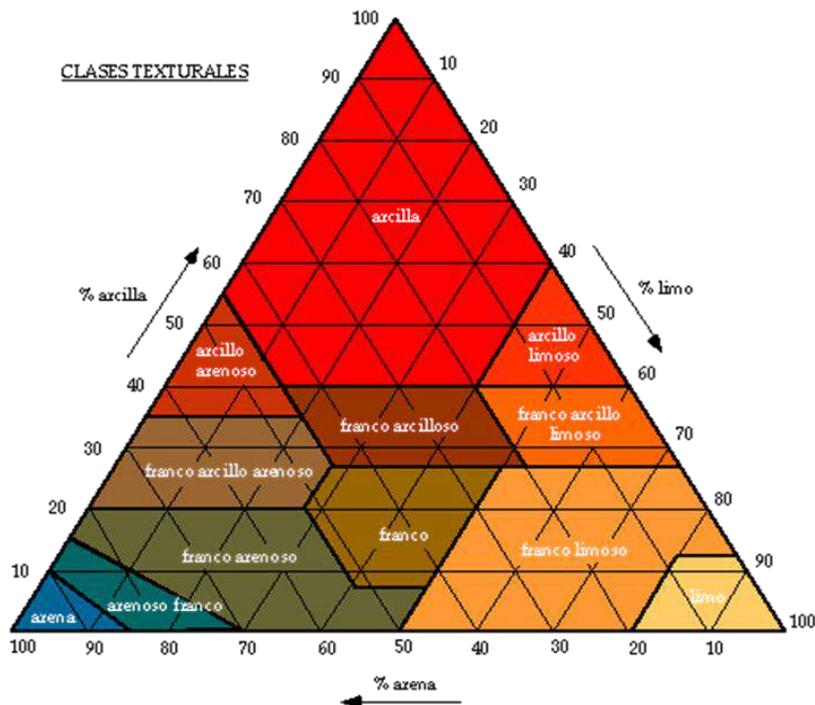
	Parámetro	Unidad	Metodología
1	Humedad	%	Gravimétrico (6.4)
2	Nitrógeno total	%	Kjendahl (5.6b)
3	Fósforo disponible P ₂ O ₅	mg/100	Molibdato de amonio(5.9a)
4	Potasio disponible K ₂ O	mg/100	Emisión (5.10)
5	Materia organica	%	Calcinación (5.7a)
6	Conductividad eléctrica	μS/cm	Medición con conductometro
7	Capacidad de intercambio catiónico	Meq/100	Extracción con hidróxido de sodio (5.3)
8	pH	–	Instrumental (5.8a)
9	Textura (Malla 2 mm)	–	Gravimétrico y Bouyucos (USDA)
	Arena	%
	Arcilla	%
	Limo	%
10	Clase textural	–	Triángulo de textura (USDA)

- ***Determinación de la Humedad.*** El método utilizado fue el mismo que se utilizó para la determinación de humedad del biochar.
- ***Determinación de Nitrógeno Total.*** Se determinó utilizando el método Kjeldahl (Sanchez, 2004).
- ***Determinación de Fosforo disponible*** Se determinó utilizando el método Kjeldahl como se muestra en la figura 20 (Sanchez, 2004).
- ***Determinación de potasio disponible.*** Se determinó por el método de emisión atómica, el mismo que se utilizó para la determinación de humedad del biochar.

- **Determinación de materia orgánica.** La determinación de la materia orgánica se realizó por el mismo método utilizado para la obtención de materia orgánica del biochar analizado.
- **Determinación de la conductividad eléctrica (CE).** Se realizó por el mismo método utilizado para la obtención de materia orgánica del biochar analizado.
- **Determinación del pH.** Para la determinación del pH, se calibró el PH metro de acuerdo a las instrucciones del manual respectivo con solución de PH, conocida de (7,15), seguidamente se pesó 20 g. de muestra que se colocó en un vaso de 50 ml, al cual se le añadió 20 ml de agua desionizada y se le agitó la mezcla durante un minuto con una varilla de vidrio, hasta formar una suspensión uniforme, se dejó en reposo media hora y se repitió la operación tres veces (Sanchez, 2004).
- **Determinación de la Textura.** La determinación de la textura del suelo está basada en el principio granulométrico.

Figura 14.

Gráfico para la denominación de los suelos según la clase textural.



Nota: USDA (1999)

B. Determinación de las características físicas y químicas del suelo después de la cosecha de *Raphanus sativus* L.

Una vez cosechado los rabanitos de las macetas, se mezclaron las 8 macetas de cada tratamiento con el fin de tener una muestra de suelo por cada tratamiento, las cuales fueron mezcladas homogéneamente, del cual se obtuvo una submuestra de 1 kg para cada tratamiento, las cuales fueron trasladadas al laboratorio para su respectivo análisis de caracterización física y química, donde los parámetros analizados y metodologías utilizadas son las mismas de la Tabla 6.

2.3.5 DETERMINACION DE LA PRODUCCIÓN DE *Raphanus sativus* L. DESPUÉS DE LA APLICACIÓN DEL BIOCHAR AL SUELO.

Para determinar la producción de *Raphanus sativus* L., se tomó como referencia algunas investigaciones de Paco (2012), Zegarra (2015) y Huerta (2019), donde se evaluaron algunas variables agronómicas y condiciones fitosanitarias de cada planta cosechada.

2.3.5.1 Determinación del área de trabajo: El área del trabajo experimental fue en el invernadero de la I.E.P Monteverde localizado en el sector de Ticapata en el distrito de San Sebastián, en la provincia de Cusco, donde se acondicionaron las macetas para el cultivo de *Raphanus sativus* L.

Figura 15

Área de trabajo experimental, invernadero de la IEP. Monteverde



2.3.5.2 Instalación del área experimental

A. Preparación de suelo agrícola

Se identificaron parcelas representativas en las zonas de cultivo aledañas. Una vez seleccionadas, se procedió a la recolección de la muestra de suelos en una bolsa ziploc con su respectivo rotulo y tomando en consideración el método del cuarteo, asegurándonos de mantener sus características físicas y químicas intactas durante el transporte.

Así mismo en el invernadero se realizó la limpieza y acondicionamiento para la instalación de las macetas.

Figura 16

Área de cultivos aledaños y suelo agrícola del sector de Ticapata

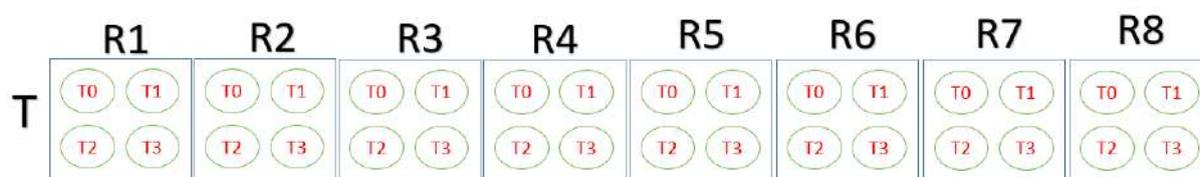


B. Instalación de las macetas:

Una vez preparado el área experimental se procedió a preparar la mezcla del suelo con el biochar a las diferentes proporciones, y se procedió a llenar cada una de las macetas, previamente zarandeada, homogenizada, así como se muestra en la tabla 7 para ser llenado en cada maceta, se utilizaron 32 macetas de capacidad (4L)

Figura 17

Distribución de los 3 tratamientos y testigo en 8 cuadrantes experimentales a diferentes proporciones de biochar (dosis).



R: repeticiones; **T₁, T₂ y T₃:** Tratamientos; **T₀:** testigo

Tabla 7

Distribución de las proporciones de suelo y biochar para cada tratamiento

TRATAMIENTO (2 individuos por tratamiento)	DESCRIPCIÓN
Testigo (Sin biochar)	Suelo agrícola (4000 g) sin biochar
(Tratamiento 1)	5 % Biochar (200 g) + suelo agrícola (3800 g)
(Tratamiento 2)	10 % Biochar (400 g) + suelo agrícola (3600 g)
(Tratamiento 3)	15 % Biochar (600 g) + suelo agrícola (3400 g)

Se tuvieron 4 tratamientos: (0% - sin biochar), (5%, 10% y 15%) de biochar, con 8 repeticiones cada uno y dos individuos por maceta, haciendo un total de 64 unidades experimentales, y fueron distribuidos como muestra en la figura 17.

Figura 18

Pesaje de suelo y biochar, para su mezclado



C. Siembra de semillas

Las semillas se sembraron el 02 de Julio de 2021, de forma directa en las 32 macetas, donde se colocaron 2 semillas por cada maceta a 2 cm de profundidad, las semillas utilizadas son de la marca Hortus.

Figura 19

Semillas de Raphanus sativus L.



D. Riego:

El riego se aplicó de acuerdo a la necesidad de la planta, el primer riego se realizó después de haber terminado la siembra, donde se aplicó en cantidades iguales a todos los tratamientos y al testigo. Posteriormente a todas las macetas se les aplicó el mismo volumen de agua, según sus necesidades hídricas dos veces al día: 9:00 am y a las 3:00 pm y evitando el drenaje, es decir manteniendo la capacidad de campo.

Figura 20

Riego del cultivo de Raphanus sativus L.



E. Control de Malezas y plagas:

Durante todo el cultivo se presentaron una que otra maleza, que fueron controladas manualmente, mediante deshierbe para que no interfieran en el crecimiento y desarrollo de la planta hasta la cosecha, en cuanto se refiere al control de plagas se realizó mediante la aplicación de penicillium para eliminación de hormigas ya que este tipo de hongo es antagónico al hongo (Basidiomicetos) que cultivan las hormigas para alimentarse en las profundidades del nido; es decir, este hongo se «come» al otro hongo y para el control de pulgones se realizó con pulverización de agua con ajo, también se utilizaron trampas monocromáticas amarillas con temocid para control de insectos voladores, como se muestra en la Figura 21

Figura 21

Control de plagas mediante trampas monocromáticas amarillas



F. Cosecha:

La cosecha se realizó manualmente el día 16 de agosto del 2021, (45 días después de la siembra), donde se obtuvieron 64 plantas de rabanito, allí mismo se registraron las fotografías correspondientes y toma de datos, luego cada muestra fue trasladada en bolsas de papel craft debidamente rotuladas al Laboratorio C-228 de la Escuela Profesional de Biología de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco donde se realizó la evaluación de las variables agronómicas.

Figura 22

Cosecha del cultivo de Raphanus sativus L.



G. Variables agronómicas evaluadas para determinar la producción de *Raphanus sativus L.*

La producción del cultivo de *Raphanus sativus L.* se realizó mediante la medición del área foliar y raíz; número de hojas; biomasa de hojas y raíz; diámetro de la raíz, los cuales han sido detallados en las fichas de recolección que se adjunta en anexos.

- **Longitud de las hojas (cm):** Se midió la longitud de la planta con la ayuda de una regla, se midió desde la base del suelo hasta la inserción de la última hoja. Las mediciones se realizaron a los 20, 30 días antes de la cosecha y a los 45 días (cosecha).

Figura 23

Medición de la longitud de Raphanus sativus L.



- **Longitud de la raíz (cm):** Se realizó midiendo con una regla desde la base de las hojas hasta la parte más delgada de la raíz. (Puntos polares)
- **Número de hojas por planta:** Se contaron todas las hojas desarrolladas hasta la cosecha de cada individuo.
- **Biomasa de la planta**

***Biomasa fresca:** Después de la cosecha se procedió al pesaje de las hojas y raíces para la obtención de biomasa fresca de hojas y biomasa fresca de las raíces en una balanza digital.

***Biomasa seca:** para la determinación de biomasa seca de las raíces se colocaron en bolsas de papel separadas, donde las raíces se picaron en rodajas, cada uno clasificado según el tratamiento empleado, para luego ser colocadas en la estufa a 68°C° por 48 horas, hasta obtener peso constante.

Figura 24

Biomasa fresca de hojas y raíz de Raphanus sativus L.



Figura 25

Secado de muestras y obtención de biomasa seca



- **Diámetro de la raíz (cm):** Después de la cosecha se evaluó el diámetro de la raíz, se midió con un vernier en la parte media ecuatorial del bulbo como se muestra en la figura 26

Figura 26

*Medición del diámetro polar y ecuatorial del *Raphanus sativus* L.*



2.3.6 Determinación de la proporción adecuada de biochar que se debe adicionar en el suelo agrícola para mejorar la producción de *Raphanus sativus* L. en condiciones de invernadero

Se usó el método analítico mediante la aplicación de estadísticas, una vez obtenidos todas las mediciones de las variables a evaluar se sistematizaron los resultados donde se determinó que la proporción de biochar es la más adecuada para obtener los mejores resultados.

Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos se realizó por medio del diseño completamente al azar, donde las variables a analizar fueron: longitud de las hojas, longitud de las raíces, longitud total de las plantas, número de hojas, biomasa fresca de hojas, biomasa fresca de raíces, biomasa fresca total, biomasa seca de raíces, diámetro polar y ecuatorial de las raíces.

Para los análisis estadísticos y la presentación de gráficos y tablas se utilizó Microsoft Excel, y paquete estadístico SPSS versión 25.

La prueba estadística que se usó, fue de Kruskal - Wallis, el cual comprueba si existe diferencia entre las medianas de los datos obtenidos para determinar la producción de *Raphanus sativus* L. después de la aplicación del biochar al suelo de cultivo mediante el análisis de algunas variables agronómicas para finalmente con los datos obtenidos evaluar la proporción adecuada del biochar; así mismo, se realizó la prueba de diferencia de medias según prueba Kruskal - Wallis.

Este análisis permitirá contrastar la hipótesis nula de las medias, frente a la hipótesis alterna.

Hipótesis

$$H_0: M_1 = M_2 = M_3$$

H_1 : Alguno de los tratamientos es \neq

Nivel de significación: $\alpha = 0.05$

CAPÍTULO III
RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 Características físicas y químicas del biochar

Tabla 8.

Resultados del análisis físico y químico del biochar

Parámetro	Unidad	Resultado	NTP 201.208 2021 Compost INACAL
Humedad	%	7.5	>35< 50
pH		9.4	>6.5< 8.5
Conductividad eléctrica	dS/m	19.2	>2 < 4
Ceniza	%	22	
Carbono orgánico total	%	72.4	
Nitrógeno Total N	%	1.6	> 0.3< 1.5
Fósforo disponible P ₂ O ₅	mg/100	6.8	> 0.1 < 1.0
Calcio Ca	%	2.3	> 2.0 < 6.0
Magnesio Mg	%	0.6	> 0.2 < 0.7
Cloruros Cl	%	0.27	
Sodio Na	%	0.11	
Potasio K	%	1.32	>0.3<1.5

En la tabla 8 se muestra los parámetros físicos y químicos evaluados del biochar, así mismo también se muestran los parámetros físicos y químicos del compost proveniente de residuos sólidos orgánicos municipales establecidos en la Norma Técnica Peruana - NTP 201.208 2021, esto con fines comparativos, donde algunos parámetros del biochar resultaron con valores bajos, altos y normales en relación a dicha norma, las cuales se

mencionan a continuación: la humedad presentó un valor de 7.5%, muy por debajo de los valores establecidos, debido a que la muestra se analizó seca, los parámetros que excedieron los valores normales fueron: el pH con 9.4, debido a la presencia de sales, el cual le confiere un carácter ligeramente alcalino (USDA,1999); la conductividad eléctrica con un valor muy alto de 19.2 dS/m, debido a la presencia de compuestos inorgánicos y sales; la ceniza con 22%, la cual genera que el pH se incremente en el suelo, siendo importante para los cultivos, ya que corrige la acidez de estos acercándolos a la neutralidad, así mismo cumple la función de desbloquear nutrientes; el fósforo disponible P_2O_5 con 6.8%, el cual junto al nitrógeno con 1.6%, y potasio con 1.32%, favorecen el proceso de fotosíntesis, transporte de nutrientes a la planta y es fundamental para el desarrollo de raíces del cultivo, el nitrógeno (N) es necesario para la producción de las proteínas, enzimas y clorofila, así mismo entre sus funciones destaca el aceleramiento de la división celular, elongación y desarrollo de las raíces; mientras que los parámetros que están dentro de los valores normales son: el calcio (Ca) con 2.3%, el magnesio (Mg) con 0.6%, los cloruros (Cl) con 0.27% y sodio (Na) con 0.11% los cuales son responsables del crecimiento de las raíces y ayuda al proceso fotosintético de las plantas.

3.2. Características físicas y químicas del suelo antes y después de la aplicación de biochar

3.2.1 Análisis físico y químico del suelo agrícola antes de la aplicación del biochar

Tabla 9.*Análisis físico y químico del suelo agrícola previo a la aplicación de biochar*

Parámetro	Unidad	Suelo testigo (sin biochar)	FAO, 2020	SENA; SENNOVA, 2017
Humedad	%	8.6		
Nitrógeno total	%	0.1	>0.25	
Fósforo disponible P ₂ O ₅	mg/100	1.0		1 - 2
Potasio intercambiable K ₂ O	mg/100	23		15 - 25
Materia Orgánica	%	2.1	1.2 - 2.8	
Conductividad eléctrica	μS/cm	3620		1900 - 3600
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100 g	13	10 - 20	
pH		6.7	6.6 - 7.3	
Arena	%	38.1		
Arcilla	%	2.4		
Limo	%	59.5		
Clase textural		Franco limoso		

En la tabla 9, se observa los resultados del análisis del suelo sin tratamiento (antes de la siembra de *Raphanus sativus* L. y antes de la adición del biochar), donde se puede apreciar que el pH se acerca a la neutralidad, lo cual indica que es un suelo óptimo para cultivo, su conductividad eléctrica es de 3620 μS/cm indica que es un suelo fuertemente salino, con respecto al fósforo disponible se encuentra relativamente bajo, esto hace que en los cultivos tengan un crecimiento retrasado, así como la presencia de hojas oscuras, la capacidad de intercambio catiónico está relativamente bajo esto hace que sea un suelo pobre y con necesidad de materia orgánica, este suelo presenta niveles de nitrógeno (N) relativamente bajo, con un valor de 0.1%, que traerá

como consecuencia el retraso del crecimiento y decoloración amarillenta de las hojas. Con respecto a la materia orgánica se obtuvo un valor de 2.1%, el cual es muy bajo lo que hará que no sea favorable el crecimiento de las plantas. En cuanto a la textura resultó un suelo franco limoso, conformado por un 38.1 % de arena, 2.4% de arcilla y 59.5% limo.

3.2.2 Análisis físico y químico del suelo agrícola después de la aplicación del biochar

Tabla 10.

Análisis Físico y Químico del suelo agrícola con la aplicación del biochar a diferentes proporciones

Parámetro	Unidad	Testigo (sin biochar)	Resultados			FAO,2013	SENA; SENNOVA,2017
			M1 (5% Biochar)	M2 (10% Biochar)	M3 (15% Biochar)		
Humedad	%	8.6	8.4	8.1	7.9		
Nitrógeno total	%	0.1	0.3	0.9	1.25	(0.1 - 0.25%)	
Fósforo disponible P ₂ O ₅	mg/100	1.0	1.3	1.5	2.2		1-2
Potasio disponible K ₂ O	mg/100	23	28	31	36		15 - 25
Materia Orgánica	%	2.1	6	18	25	1.2 - 2.8%	
Conductividad eléctrica	μS/cm	3620	6530	9340	12610		
Capacidad de intercambio catiónico	meq/100	13	14	18	22	10-20 meq/100g	
pH		6.7	6.8	7	7.3	6.6 - 7.3	
Arena	%	38.1	36.3	31.7	26.1		
Arcilla	%	2.4	2.2	2.1	2.1		
Limo	%	59.5	61.5	66.2	71.8		
Clase textural		Limoso	Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Limoso		
Densidad aparente	g/cc	1.33	1.24	1.21	1.19		
Densidad real	g/cc	2.11	2.08	2.01	1.94		
Humedad equivalente (He)	%	21	21	20	19		
Capacidad de campo(C.C)	%	20.8	20.8	19.9	19.1		
Punto de marchitez permanente (P.M.P)	%	11.4	11.4	10.9	10.3		

En la tabla 10, se observa los resultados del análisis de los parámetros físicos y químicos del suelo sin biochar y de las tres muestras de suelo con 5%, 10% y 15% de biochar, después de la cosecha de *Rapahanus sativus* L, los cuales son comparados con la “Cartilla sobre el manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas de la FAO 2013” y “SENA; SENOVA, 2017”, donde: el nitrógeno total en el suelo agrícola presentó los siguientes valores: sin biochar es de (0.1%), al 5% de biochar (0.3%), al 10% de biochar (0.9%), al 15% de biochar (1.25%), estando dentro de los valores normales los dos primeros; en cuanto se refiere al fósforo disponible P_2O_5 sin biochar (1.0 mg/100), al 5% (1.3 mg/100), al 10% (1.5 mg/100), al 15% (2.2 mg/100), donde todos los valores son considerados normales, cabe resaltar que el fósforo en la planta interviene en la fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, así como en la división celular lo cual es fundamental para formar raíces y potenciar la floración en las plantas; en cuanto se refiere al potasio disponible K_2O en el suelo se registraron los siguientes valores: sin biochar (23 mg/100) al 5% (28 mg/100), al 10% (31 mg/100) y al 15% (36 mg/100), donde los 3 últimos se encuentran por encima de los valores normales, tomando en cuenta que el potasio intercambiable cumple la función de elongar las células y principalmente el crecimiento de las raíces, puesto que el *Raphanus sativus* L. es una planta que se aprovecha principalmente sus raíces; en cuanto se refiere a materia orgánica el suelo sin biochar (2.1%), al 5% (6.0 %), al 10% (18%) y al 15% (25%), donde los 3 últimos valores están por encima de lo establecido, teniendo en cuenta que la materia orgánica en el suelo es fuente principal de carbono, hidrogeno, oxigeno, nitrógeno, fósforo y azufre, mejora las propiedades físicas del suelo; referente a la conductividad eléctrica se observa que el suelo sin biochar (3620 uS/cm), está clasificado como moderadamente salino, al 5% (6530 uS/cm), al 10% (9340 uS/cm) y al 15% (12610 uS/cm) supera los valores establecidos; finalmente para la capacidad de intercambio catiónico se obtuvieron

los siguientes datos: suelo sin biochar (13 meq/100), al 5% (14 meq/100), al 10% (18 meq/100) y 15% (22 meq/100), este parámetro influye en la capacidad que tienen los suelos para retener cationes y nutrientes para la planta, por lo tanto si la capacidad de intercambio catiónico es mayor será más beneficioso para las planta, finalmente el tipo de suelo obtenido es franco limoso, donde este último es adecuado para la producción de *Raphanus sativus* L. de todo lo descrito líneas arriba, según a los valores obtenidos, permitirán dosificar el biochar, el cual deberá de cubrir los requerimientos nutricionales de la planta para evitar la salinidad y la sobrefertilización del suelo.

3.3 Producción de *Raphanus sativus* L. después de la aplicación del biochar

3.3.1 Longitud de *Raphanus sativus* L. (parte aérea)

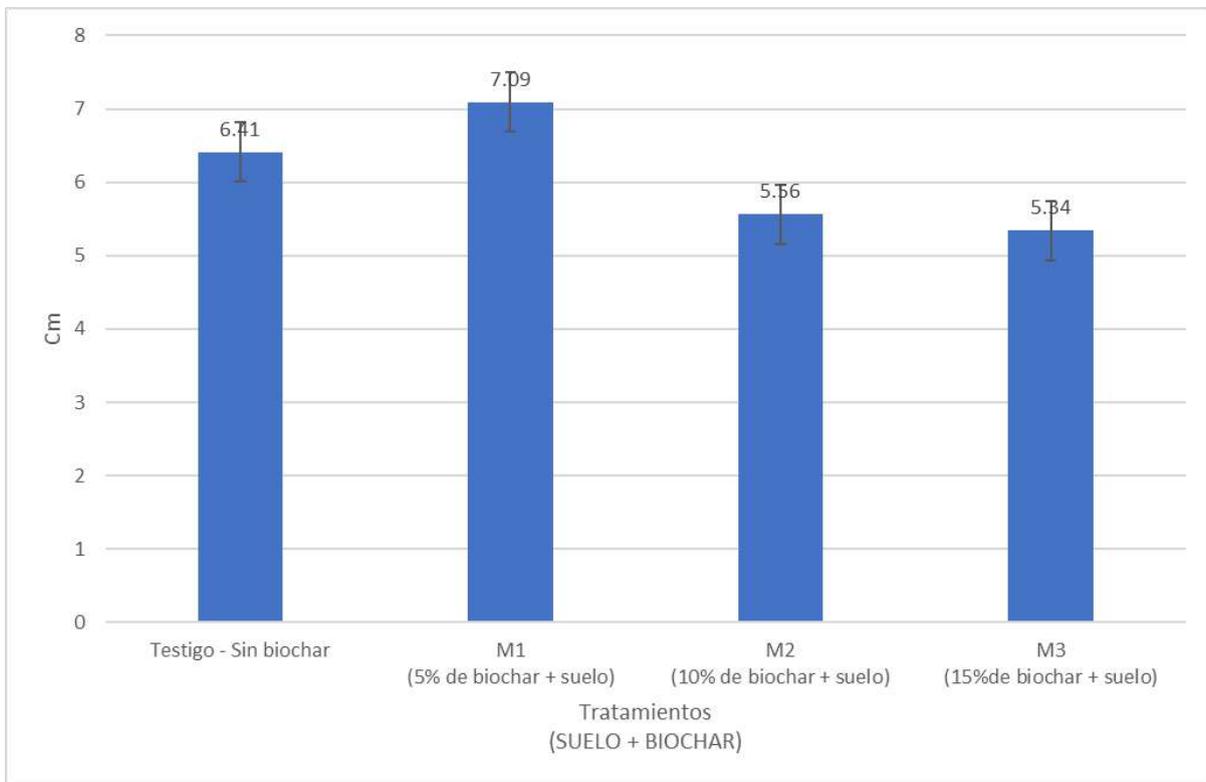
Tabla 11.

Diferencia de medias de la longitud de la parte aérea del Raphanus sativus L. a los 20 días.

Tratamiento (Suelo + Biochar)	Longitud promedio de la parte aérea (cm)	Grupos Prueba diferencia de rangos		
M3 (15% de biochar + suelo)	5.34	A	.	
M2 (10% de biochar + suelo)	5.56	A	B	
Testigo - (Sin biochar)	6.41	.	B	C
M1 (5% de biochar + suelo)	7.09	.	B	C
Kruskal-Wallis		16,87		
Sig.		0.0007		

Figura 27

Longitud promedio de la parte aérea de Raphanus sativus L. a los 20 días.



De la tabla 11 y figura 27, en la medición de la longitud aérea (hojas) promedio de las plantas, realizada a los 20 días (primera medición) se observa lo siguiente: que para los tratamientos al 15% de biochar su valor promedio es de 5.34 cm, los tratamientos al 10% de biochar tienen un valor promedio de 5.56 cm, seguido de los testigos con un valor promedio de 6.41 cm, los tratamientos con 5% de biochar presentan la mayor longitud promedio con 7.09 cm.

La prueba Kruskal-Wallis para identificar si existe diferencia significativa en la longitud aérea promedio de las hojas a los 20 días da como respuesta una significancia de 0.0007 inferior a 0.05 con lo que se acepta que existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

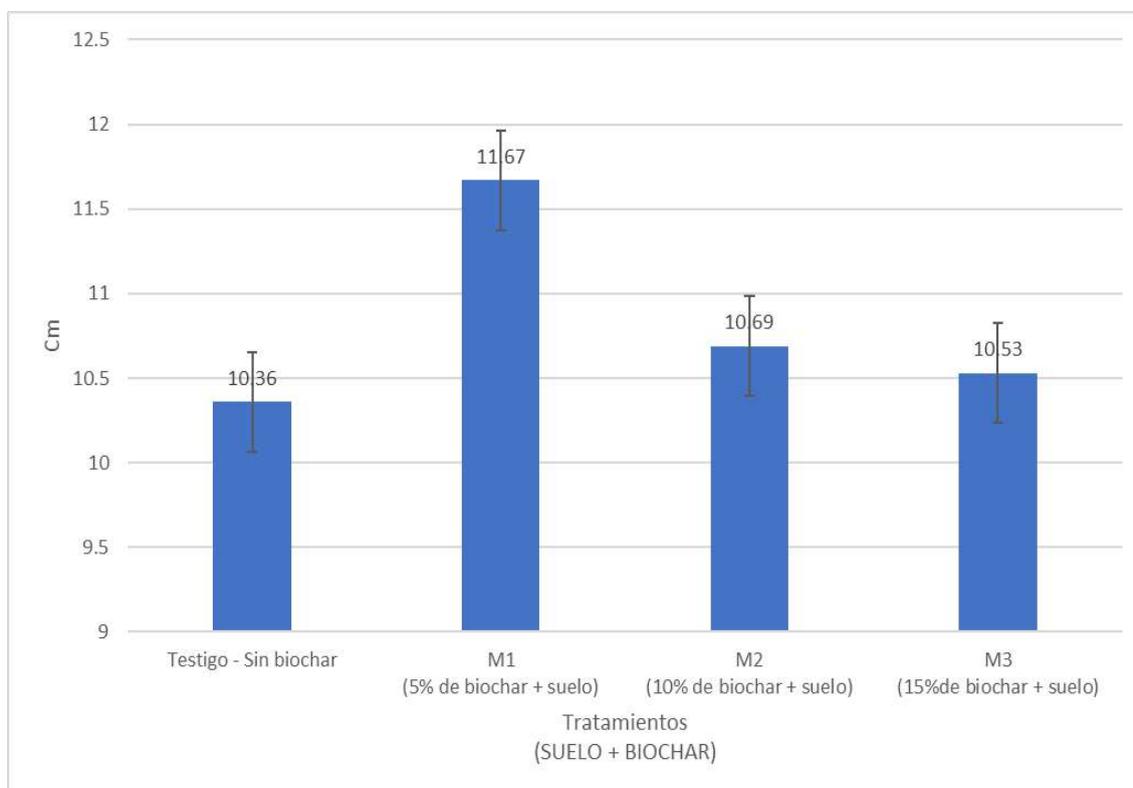
Tabla 12.

Diferencia de medias de la longitud aérea de Raphanus sativus L. a los 30 días.

Tratamiento (Suelo + Biochar)	Longitud Promedio de la parte aérea (cm)	Grupos Prueba diferencia de rangos
Testigo – (Sin biochar)	10.36	A . .
M3 (15% de biochar + suelo)	10.53	A . .
M2 (10% de biochar + suelo)	10.69	A . .
M1 (5% de biochar + suelo)	11.67	A . .
Kruskal-Wallis	3,50	
Sig.	0.3163	

Figura 28

Longitud promedio de la parte aérea de Raphanus sativus L. a los 30 días.



En la tabla 12 y figura 28, a los 30 días según la medición realizada de la longitud aérea

(hojas) promedio de las plantas, se observa que: los testigos presentan el menor valor con 10.36cm, los tratamientos con 15% de biochar presentan un valor de 10.53cm, los tratamientos con 10% de biochar obtuvieron un valor de 10.69 cm, mientras que los tratamientos con 5% de biochar obtuvieron el mayor valor de 11.67 cm.

Los resultados de Kruskal-Wallis indica que no se encuentra diferencia significativa con un valor de significancia de 0.32 superior a 0.05, por lo que se identifica que todos los tratamientos presentan en promedio 10 cm de altura aérea en la planta a los 30 días.

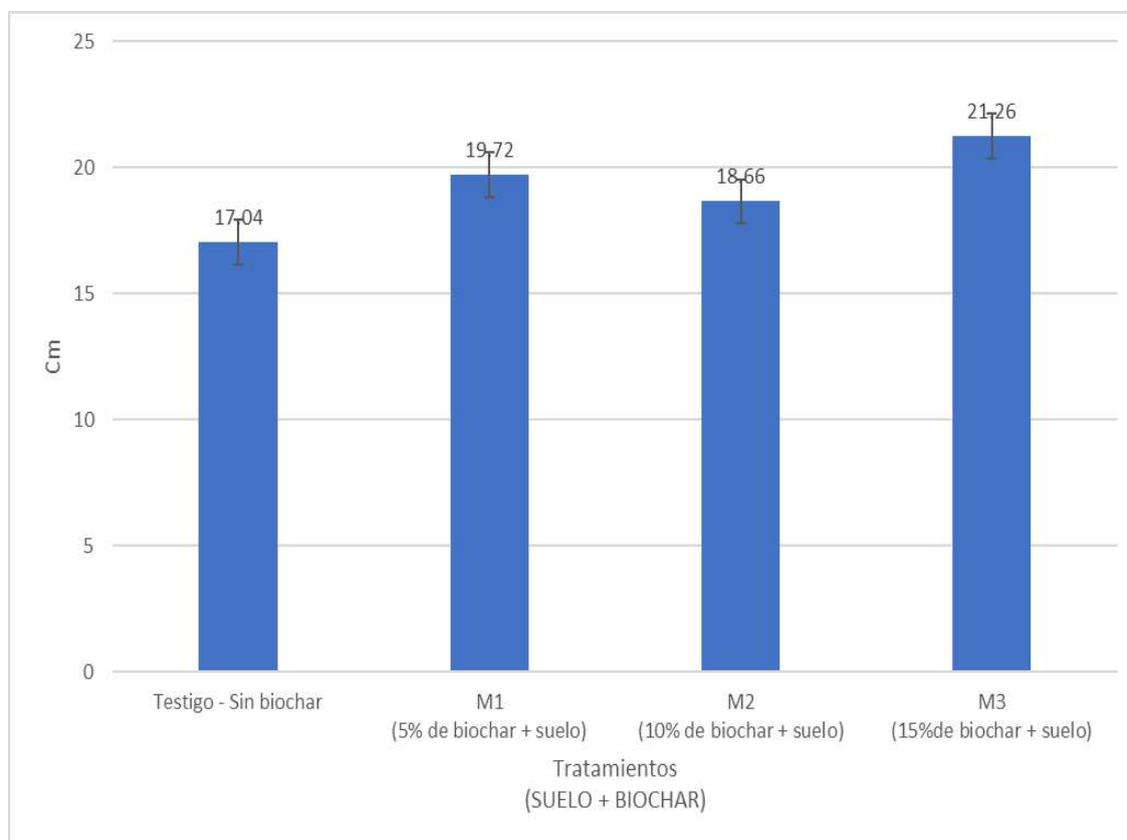
Tabla 13.

Diferencia de medias de la longitud de la parte aérea de Raphanus sativus L. a los 45 días (día de la cosecha).

Tratamiento (Suelo + Biochar)	Longitud promedio de la parte aérea (cm)	Grupos Prueba diferencia de rangos		
Testigo - (Sin biochar)	17.04	A	.	.
M2 (10% de biochar + suelo)	18.66	A	B	.
M1 (5% de biochar + suelo)	19.72	.	B	C
M3 (15% de biochar + suelo)	21.26	.	.	C
Kruskal-Wallis	17,03			
Sig.	0.0007			

Figura 29

Longitud promedio de la parte aérea de Raphanus sativus L. a los 45 días.



En la tabla 13 y figura 29, a los 45 días (medición final) se encuentra diferencia significativa en las longitudes aéreas promedio de las hojas, con una significancia de 0.007 inferior a 0.05, donde las longitudes de hojas de menor valor son las que no se le aplicaron biochar con 17.04 cm, seguido del tratamiento con 10% de biochar con 18.66cm, al 5% presentaron un valor 19.72 cm y al 15% presentaron el mayor valor con 21.26 cm. La prueba Kruskal-Wallis identifica 3 grupos marcados donde los tratamientos al 0% y 10% de biochar se agrupan al igual que 10% y 5% de biochar, finalmente 5% y 15% de biochar se agrupan.

3.3.2 Longitud total del *Raphanus sativus* L. cosechado (hojas y raíz)

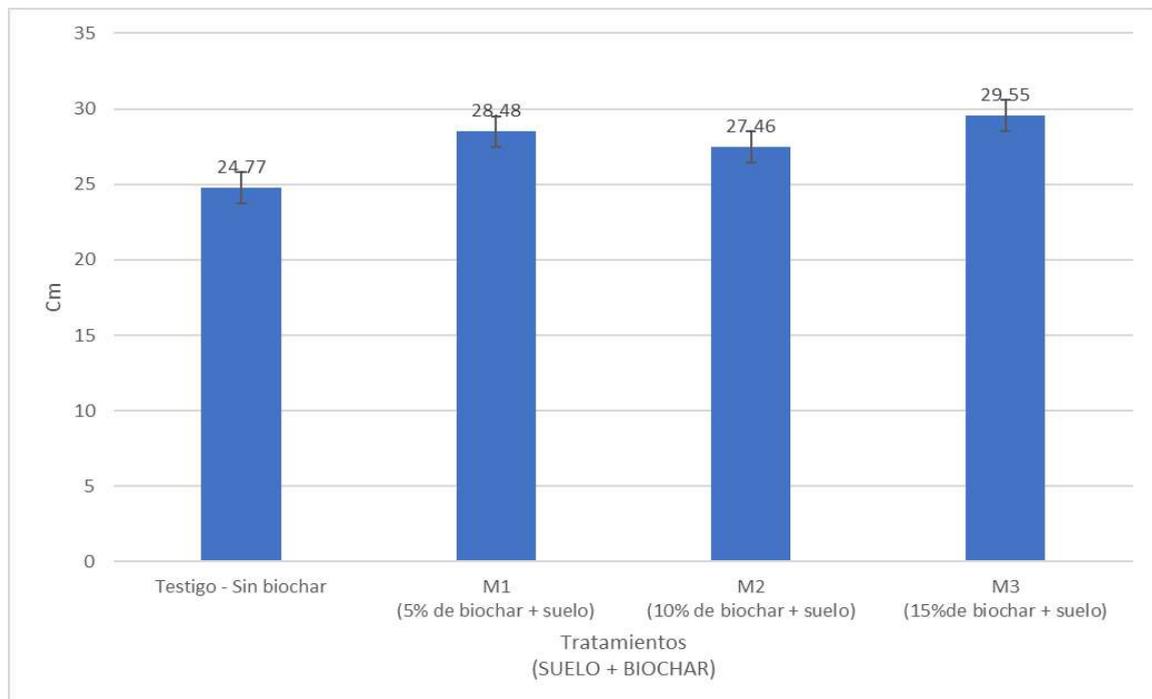
Tabla 14.

Diferencia de medias de la longitud total de Raphanus sativus L. (hojas y raíz)

Tratamiento (Suelo + Biochar)	Longitud Promedio (Hojas y raíces)(cm)	Grupos Prueba diferencia de rangos
Testigo – (Sin biochar)	24.77	A . .
M2 (10% de biochar + suelo)	27.46	. B .
M1 (5% de biochar + suelo)	28.48	. B .
M3 (15% de biochar + suelo)	29.55	. B .
Kruskal-Wallis	14,68	
Sig.	0.0021	

Figura 30

Longitud total de Raphanus sativus L.



En la tabla 14 y figura 30, de las mediciones de la longitud total promedio realizadas a las plantas se puede observar que los testigos presentan el menor valor promedio con 24.77cm, los tratamientos con 10% de biochar presentan un valor promedio de 27.45cm, los tratamientos al 5% de biochar con un valor de 28.48cm, finalmente a 15% de biochar presentan el mayor valor promedio de 29.55 cm.

Con una significancia de $0.0021 < 0.05$, se deduce que existe diferencia en la longitud promedio de hojas y raíces de las plantas.

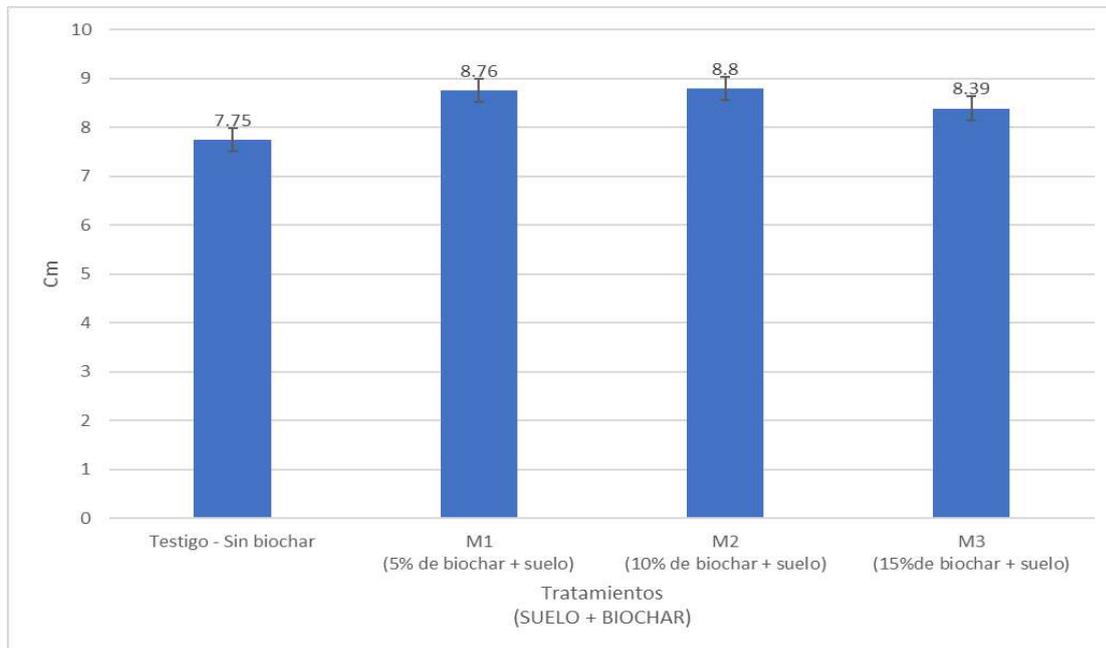
Tabla 15.

Diferencia de medias de la longitud de la raíz de Raphanus sativus L. (bulbo)

Tratamiento (Suelo + Biochar)	Longitud promedio de la raíz (cm)	Grupos Prueba diferencia de rangos
Testigo – (Sin biochar)	7.75	A . .
M3 (15%de biochar + suelo)	8.39	A . .
M1 (5% de biochar + suelo)	8.76	A . .
M2 (10% de biochar + suelo)	8.80	A . .
Kruskal-Wallis		0,87
Sig.		0.3565

Figura 31

Longitud de la raíz de Raphanu sativus L.



En la tabla 15 y figura 31, se puede observar que los tratamientos de 10%, 5%, 15% y 0% de biochar tienen valores promedios de 8.8cm, 8.76cm, 8.39 cm y 7.75cm de longitudes de sus raíces respectivamente, los cuales no tienen una diferencia marcada, por lo que con una significancia de 0.36 superior a 005, se acepta que no existe diferencia significativa, y que no influye el tratamiento efectuado en la longitud promedio de las raíces.

Figura 32

Promedios de las longitudes de hojas y raíces de Raphanus sativus L. de todos los tratamientos durante el experimento.



3.3.3 Número de hojas

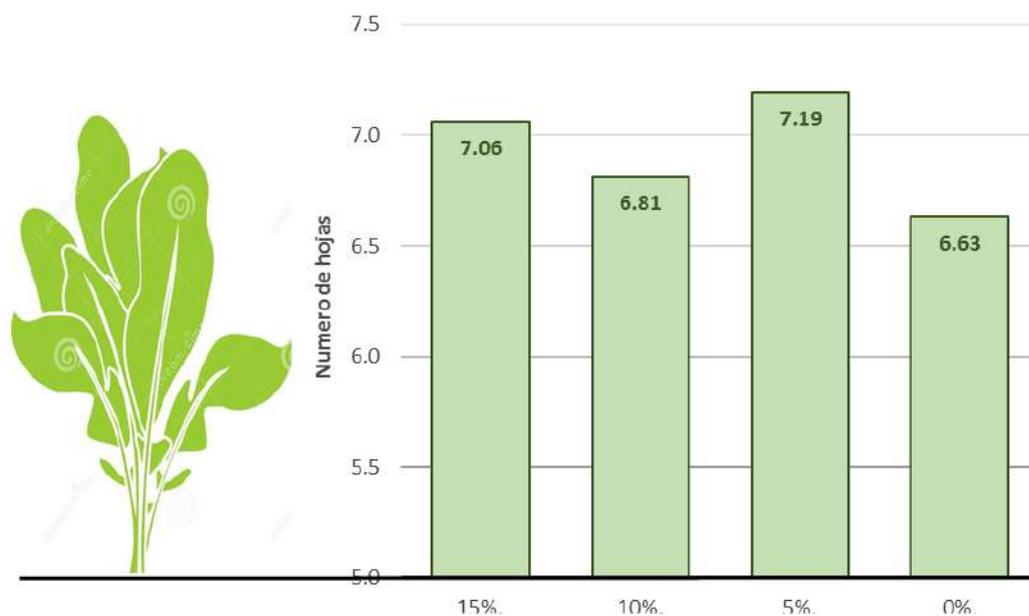
Tabla 16.

Número de hojas promedio a la cosecha.

Tratamiento (Suelo + Biochar)	Promedio de hojas	Grupos Prueba diferencia de rangos	
Testigo – (Sin biochar)	6.63	A	.
M2 (10% de biochar + suelo)	6.81	A	.
M3 (15% de biochar + suelo)	7.06	A	.
M1 (5% de biochar + suelo)	7.19	A	.
Kruskal-Wallis		0.87	
Sig.		0.8213	

Figura 33

Número de hojas a la cosecha.



En la tabla 16 y figura 33, se puede observar que los testigos presentan menor número de hojas promedio, con un valor de 6.63, mientras que los tratamientos con 5% de biochar presentan el valor promedio más alto de 7.19, seguido de los tratamientos al 15% y 10% de biochar con 7.06cm y 6.81 respectivamente.

La prueba Kruskal – Wallis no encuentra diferencia significativa con una significancia de 0.82 mayor a 0.05.

3.3.4 Biomasa fresca y seca de hojas y raíz, finales (cosecha) de *Raphanus sativus* L.

A. Biomasa fresca (cosecha)

a. Biomasa fresca de hojas

Tabla 17.

Diferencia de medias de la biomasa fresca de hojas.

Tratamiento (Suelo + Biochar)	Promedio de biomasa fresa de hojas (gr)	Grupos Prueba diferencia de rangos	
Testigo – (Sin biochar)	5.32	A	.
M1 (5% de biochar + suelo)	7.37	A	B
M2 (10% de biochar + suelo)	8.37	.	B
M3 (15% de biochar + suelo)	12.5	.	. C
Kruskal-Wallis		31,69	
Sig.		< 0.0001	

En la tabla 17 se puede ver que los menores valores de la diferencia de medias de biomasa fresca para hojas se obtienen de los testigos con un valor de 5.32gr, mientras que los tratamientos al 15% y 10 % de biochar registraron los valores más altos con 12.5gr y 8.37gr respectivamente.

Con una significancia de 0.0001 para la medición promedio de biomasa fresca de las hojas al final del experimento se deduce que si existe una diferencia significativa entre los tratamientos.

b. Biomasa fresca de raíces

Tabla 18.

Diferencia de medias de la biomasa fresca de las raíces (bulbo)

Tratamiento (Suelo + Biochar)	Longitud promedio fresca de las raíces (gr)	Grupos Prueba diferencia de rangos		
Testigo – (Sin biochar)	3.03	A	.	.
M1 (5% de biochar + suelo)	5.37	A	.	.
M2 (10% de biochar + suelo)	10.22	.	B	.
M3 (15% de biochar + suelo)	16.46	.	.	C
Kruskal-Wallis		44,46		
Sig.		< 0.0001		

En la tabla 18 se puede observar que el menor valor para la diferencia de medias de biomasa fresca de las raíces (bulbo) es de 3.03gr, correspondiente a los testigos, al 15% de biochar se obtuvo una diferencia de medias de 16.46 gr, seguido del tratamiento con 10% de biochar, cuya diferencia de medias resultó 10.22 gr.

Con una significancia menor a 0.0001 para la medición promedio de biomasa fresca de las raíces al final del experimento se deduce que, si existe una diferencia significativa entre los tratamientos, donde los tratamientos con mayor biomasa fresca de raíces fueron los tratamientos al 15%.

c. Biomasa fresca de hojas y raíces finales

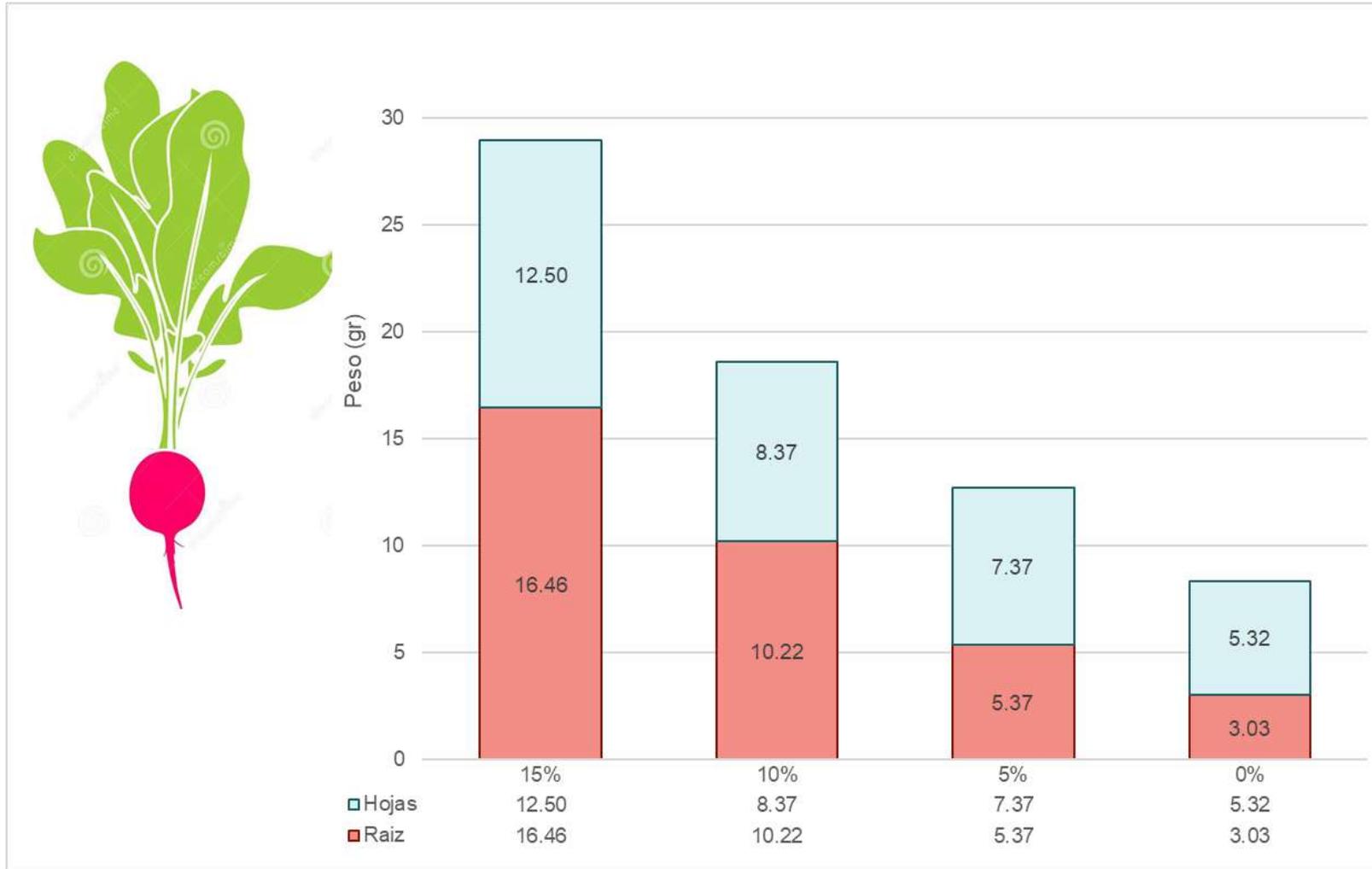
Tabla 19.

Diferencia de medias de la biomasa fresca total (hojas y raíz).

Tratamiento (Suelo + Biochar)	Promedio de la biomasa fresca total (gr)	Grupos Prueba diferencia de rangos		
Testigo – (Sin biochar)	8.8	A	.	.
M1 (5% de biochar + suelo)	12.74	A	B	.
M2 (10% de biochar + suelo)	18.59	.	B	.
M3 (15% de biochar + suelo)	28.96	.	.	C
Kruskal-Wallis		41,24		
Sig.		< 0.0001		

Figura 34

Comparación de las biomásas frescas totales (hojas y raíz) al final del experimento



En la tabla 19 y figura 34 se puede observar que el menor valor para la diferencia de medias de biomasa fresca total (hojas y raíz), lo obtuvieron los testigos, con un valor de 8.8gr, asimismo se puede observar que los mayores valores se presentaron en los tratamientos al 15% de biochar seguido de los tratamientos con 10% de biochar con valores de 28.96 gr y 18.59 gr respectivamente.

Con una significancia menor a 0.001 se acepta que existe diferencia significativa en la biomasa fresca total de las plantas, donde el grupo de 0% y 5% de biochar tienen valores similares en comparación a los tratamientos con 10% y 15%.

B. Biomasa seca de raíces de *Raphanus sativus* L.

Tabla 20.

Diferencia de medias de la biomasa seca de la raíz.

Tratamiento	Promedio de la biomasa seca de raíz (gr)	Grupos Prueba diferencia de rangos		
Testigo - (Sin biochar)	0.28	A	.	.
M1 (5% de biochar + suelo)	0.36	A	.	.
M2 (10% de biochar + suelo)	0.55	.	B	.
M3 (15% de biochar + suelo)	1.01	.	.	C
Kruskal-Wallis		39,45		
Sig.		< 0.0001		

En la tabla 20 se puede observar que el menor valor para la diferencia de medias de biomasa seca de la raíz lo obtuvieron los testigos con 0.28g, mientras que el valor promedio más alto lo obtuvieron los tratamientos al 15% de biochar con 0.36gr, seguido de los tratamientos al 10% de biochar con 0.55 gr.

Con una significancia menor a 0.001 se acepta que existe diferencia significativa en la

biomasa seca de las raíces, donde los testigos y los tratamientos al 5% de biochar tienen valores similares, y los tratamiento al 10% y 15% de biochar presentan otros valores, por lo que se observa 3 grupos diferenciados.

3.3.5 Diámetro de la raíz de *Raphanus sativus* L.

A. Diámetro polar

Tabla 21.

Diferencia de medias del diámetro polar

Tratamiento	Promedio del diámetro polar (cm)	Grupos Prueba diferencia de rangos
Testigo - (Sin biochar)	2.79	A .
M1 (5% de biochar + suelo)	3.53	. B .
M2 (10% de biochar + suelo)	3.68	. B .
M3 (15% de biochar + suelo)	4.21	. B .
Kruskal-Wallis		16,16
Sig.		0.0001

Con una significancia. de $0.0001 < 0.05$ para la prueba se acepta que hay diferencia significativa del diámetro polar promedio de *Raphanus sativus* L., donde el valor más alto se encuentra en los tratamientos al 15% de biochar con un diámetro de 4.21cm, seguido de los tratamientos al 10% de biochar con un diámetro de 3.68cm, el menor diámetro promedio se encontró en los testigos con un valor de 2.79 cm.

B. Diámetro ecuatorial

Tabla 22.

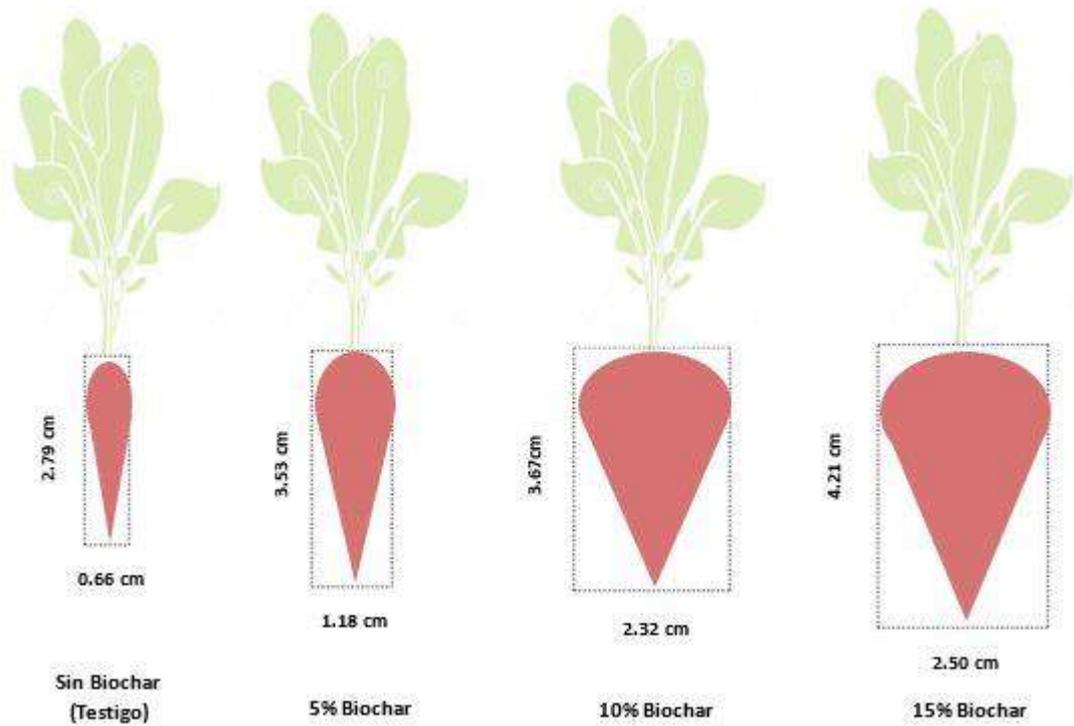
Diferencia de medias del diámetro ecuatorial

Tratamiento	Promedio del diámetro ecuatorial(cm)	Grupos Prueba diferencia de rangos		
Testigo – (Sin biochar)	0.66	A	.	.
M1 (5% de biochar + suelo)	1.18	A	.	.
M2 (10% de biochar + suelo)	2.32	.	B	.
M3 (15% de biochar + suelo)	2.50	.	B	.
Kruskal-Wallis				47,64
Sig.				0.0010

Con una significancia de 0.0010 para el diámetro ecuatorial de *Raphanus sativus* L. existe diferencia significativa dónde los tratamientos al 15% de biochar generan el diámetro polar más grande de 2.5 cm al igual que el diámetro polar de los tratamientos al 10% de biochar con 2.32 cm, siendo estos dos los de mayor valor, los tratamientos al 5% de biochar obtuvieron un diámetro polar de 1.18 cm, finalmente los testigos obtuvieron un diámetro polar de solo 0.66 cm.

Figura 35

Diámetros polares y ecuatoriales promedio de Raphanus sativus L.



De la figura 35 a escala proporcional se puede indicar que *Raphanus sativus L.* presenta un mejor crecimiento al 15% y al 10% de biochar generando bulbos más grandes y robustos en comparación al tratamiento con 5% de biochar y el testigo.

3.4. Proporción de biochar para mejorar la producción de *Raphanus sativus L.*

Tabla 23.

Consolidado de los promedios y significancias de las variables agronómicas evaluadas para determinar la proporción adecuada del biochar para el mejoramiento de la producción.

			Sin	5%	10%	15%
Variables Agronómicas		Nivel Sig.	Biochar (testigo)	M1	M2	M3
Longitud	Hojas a los 20 días (cm)	0.0007	6.41	7.09	5.56	5.34
	Hojas a los 30 días (cm)	0.3163	10.36	11.67	10.69	10.53
	Hojas a los 45 días (cm)	0.0007	17.04	19.72	18.66	21.26
	Raíz a los 45 días (cm)	0.3565	7.75	8.76	8.8	8.39
	Total (hojas y raíz) a los 45 días (cm)	0.0021	24.79	28.48	27.46	29.65
N° hojas a los 45 días		0.8213	6.63	7.19	6.81	7.06
Biomasa	Fresca hojas (gr)	0.0001	5.32	7.37	8.37	12.5
	Fresca raíz (gr)	0.0001	3.03	5.37	10.22	16.46
	Fresca total (hojas y raíz) (gr)	0.0001	8.35	12.74	18.59	28.97
	Seca (Raíz) (gr)	0.0001	0.28	0.36	0.55	1.01
Diámetro	Polar (cm)	0.0001	2.79	3.53	3.68	4.21
	Ecuatorial (cm)	0.0010	0.66	1.18	2.32	2.5

Valor muy bajo	Valor bajo	Valor medio	Valor alto
----------------	------------	-------------	------------

De la tabla 23 podemos indicar que en el día 20 y 30 se realizó la medición de la longitud aérea promedio, donde no se encontró un patrón de crecimiento en función al porcentaje de biochar de los tratamientos.

La longitud promedio de la raíz solo se pudo realizar al momento de la cosecha, y no presenta diferencias significativas, ya que los valores obtenidos son muy semejantes, sin embargo, se pudo observar que las raíces de los tratamientos con mayor proporción de biochar estaban más engrosadas en comparación con las de menor proporción de biochar y el testigo.

La longitud aérea total (hojas y raíces) promedio sí presenta diferencias significativas al día de la cosecha, donde se observó que los valores obtenidos estaban en función a la proporción de los tratamientos con biochar, teniendo una relación directa, es decir a más cantidad de proporción de biochar más longitud aérea total se obtenía, con 27.46cm y 29.65cm al 10% y 15% de biochar respectivamente.

El número de hojas no presenta diferencias significativas para los diferentes tratamientos con biochar y no tiene una relación directa entre la proporción de biochar y la cantidad de hojas de las plantas.

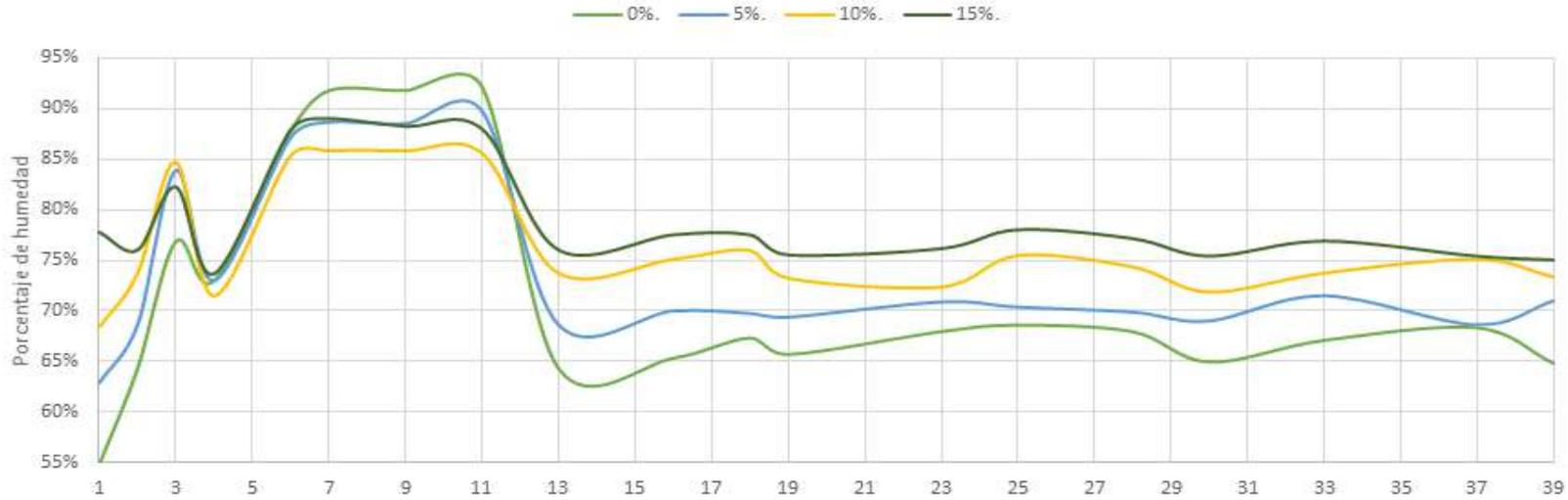
La biomasa fresca promedio en las hojas, raíz, y biomasa total de las plantas presentan diferencias significativas debido a las proporciones de biochar, donde existe una relación directa, es decir a más concentración de biochar, estos valores se incrementaban; esta misma tendencia se presenta para los resultados de biomasa seca de la raíz.

Los diámetros polares y ecuatoriales presentan diferencias significativas donde los valores más altos se encuentran en los tratamientos a mayor proporción de biochar, donde se observa una relación directa.

A parte de las variables agronómicas antes mencionadas también se determinaron las siguientes variables: humedad del suelo agrícola y temperatura ambiente del invernadero.

Figura 36

Humedad media del suelo



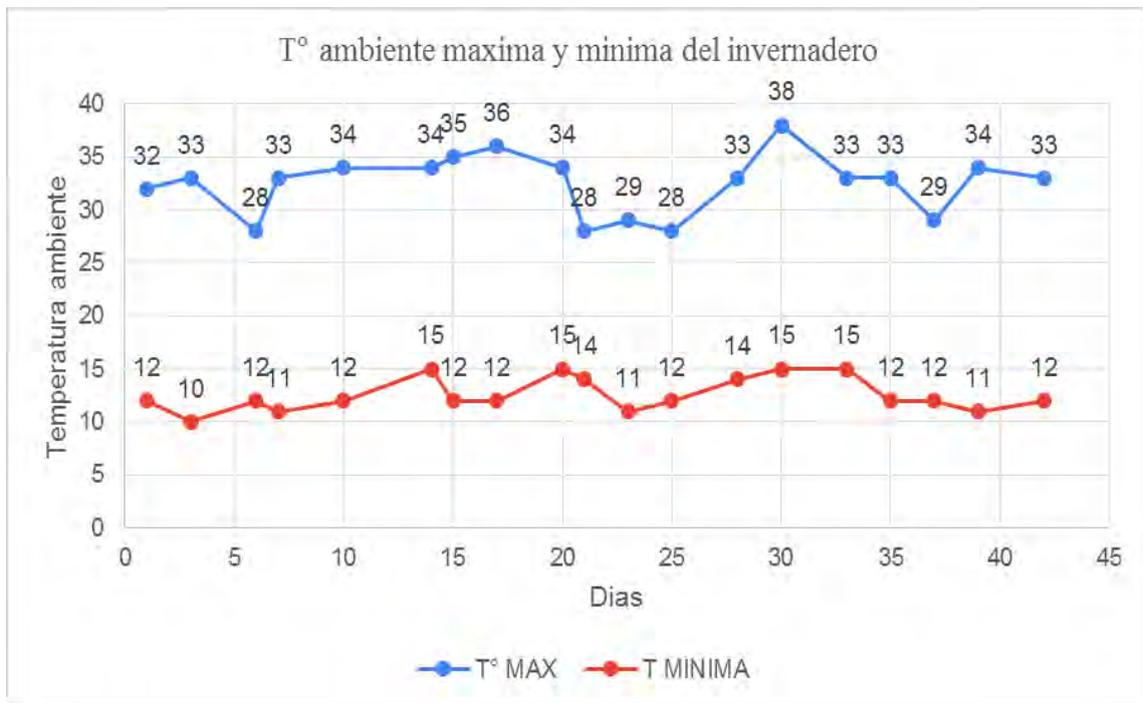
	1 día	2 días	3 días	4 días	6 días	7 días	9 días	11 días	13 días	16 días	18 días	19 días	23 días	25 días	28 días	30 días	33 días	37 días	39 días
0%.	54.90%	64.40%	76.90%	73.00%	87.80%	91.80%	91.80%	92.10%	64.40%	65.40%	67.40%	65.80%	68.00%	68.60%	68.00%	65.00%	67.10%	68.40%	64.90%
5%.	62.90%	68.60%	83.90%	73.00%	87.10%	88.60%	88.50%	89.80%	68.60%	70.00%	69.80%	69.40%	70.90%	70.40%	69.90%	69.00%	71.50%	68.60%	71.00%
10%.	68.40%	73.80%	84.80%	71.50%	85.40%	85.90%	85.90%	85.60%	73.80%	75.10%	76.00%	73.30%	72.40%	75.50%	74.40%	71.90%	73.80%	75.10%	73.40%
15%.	77.80%	76.00%	82.30%	73.60%	87.90%	89.00%	88.30%	88.00%	76.00%	77.50%	77.50%	75.50%	76.10%	78.00%	77.10%	75.40%	76.90%	75.40%	75.00%

- **Humedad del suelo.-** La humedad del suelo del día 1 hasta el día 3 no son constantes, donde el valor más bajo de humedad se registró para las muestras sin biochar, el día 6 empieza a incrementarse los valores de humedad para todas las muestras, del día 7 al 11 los valores de humedad se mantienen constantes para todas las muestras, el día 11 se encuentran los valores más altos de humedad y corresponden a la muestra con 5% de biochar, finalmente el día 13 los valores decaen para luego mantenerse constantes hasta antes de la cosecha, donde los valores más altos se presentan en las muestras con 15 y 10 % de biochar, por lo que se puede observar que a menor concentración de biochar disminuye la humedad.

La referencia que se tiene sobre la humedad adecuada del suelo para el cultivo de *Raphanu sativus* L. oscila entre 60 a 80 % de humedad, siendo así se podría decir que los valores para las 4 muestras medidos con higrómetro de suelo manual durante toda la parte experimental son los óptimos, como se puede ver en la figura 36

Figura 37

Temperatura ambiental del invernadero



día	1	3	6	7	10	14	15	17	20	21	23	25	28	30	33	35	37	39	42
T° max C°	32	33	28	33	34	34	35	36	34	28	29	28	33	38	33	33	29	34	33
T° min C°	12	10	12	11	12	15	12	12	15	14	11	12	14	15	15	12	12	11	12

- **Temperatura ambiente del invernadero.** - Se registró las temperaturas a las primeras horas del día (temperaturas bajas) y a partir del mediodía hasta las 3:00 pm (las temperaturas más altas), donde se puede observar en la figura 37 lo siguiente:
 - Para temperaturas máximas: el día 6 y 21 las temperaturas disminuyen a 28°C, y el día 30 se registra la temperatura más elevada de 38 °C.
 - Para temperaturas mínimas: estas se mantienen constantes y oscilan entre 10 °C y 15°C a lo largo de todo el periodo experimental.

DISCUSIONES

En el presente estudio de investigación “Aplicación de biochar para el mejoramiento del suelo y la producción de *Raphanus sativus* L. en condiciones de invernadero en el sector de Ticapata, San Sebastián - Cusco, 2021”, a través del experimento y tras someter los resultados a la prueba estadística Kruskal - Wallis, se aprueban la hipótesis general e hipótesis específicas propuestas.

Con respecto a las características físicas y químicas del biochar según los datos obtenidos en el presente trabajo de investigación para la humedad (7.5%), son mayores a los que realizó Trujillo (2017) en los biochares de gallinaza y pollinaza donde resultaron menores a 2%; así mismo, en el trabajo de investigación de Solisor (2020), en el biochar obtenido a partir de eucalipto, la humedad registró un 6.5%, por lo que se podría indicar que el contenido de humedad presente en los biochares está en función del contenido de humedad de la biomasa de la materia prima, del incremento de la temperatura en el proceso de la pirolisis y también del método usado para su obtención (Solisor 2020).

De acuerdo al dato obtenido para pH en el presente trabajo de investigación fue de 9.4; así mismo en el estudio que realizó Guerra (2015), los biochares provenientes de la cascara de la corteza interna de palmito y cascara de cacao registraron valores de pH de 9.37 y 10.20 respectivamente, de igual manera los valores de pH en el estudio de Trujillo (2017) para el biochar proveniente de gallinaza y pollinaza son de 10.89 y 10.15 respectivamente, por lo que se podría indicar que el pH del biochar va a depender del tipo de materia prima empleada, así mismo de las condiciones y tipo de pirolisis, ya que la mayoría de los biochares producidos con pirolisis lenta puede ir de 7.5 a 10.5, es decir que van de ligeramente alcalino a fuertemente alcalino, lo que puede ayudar a disminuir la acidez de los suelos.

En cuanto a la conductividad eléctrica en el presente estudio presenta valores muy altos 192 S/m respecto a otros estudios como el de Pineda (2017) que presenta 315 μ S/cm,

conteniendo poca presencia de sales solubles, el cual claramente indica que no influye sobre el suelo al ser aplicado; así también, Guerra (2015) para el biochar obtenido a partir de cascara de cacao presento un valor de (6.915 $ds\ m^{-3}$), los valores de conductividad eléctrica se pueden justificar por el contenido de cenizas que estos presentan, mientras que Iglesias (2018) en su biochar a base de cortezas de eucalipto presenta (15.5ds/m).

El contenido de cenizas para el presente estudio fue de 22%, realizado a una temperatura de 560 °C, teniendo resultados similares para las investigaciones de Nieto (2015) con 20.5 % y 22.5 % en el biochar proveniente de restos de poda a una temperatura de pirolisis de 300°C y 500°C respectivamente; así mismo, Guerra (2015) para el biochar proveniente de la cascara de cacao obtuvo (20.73 %) a una temperatura de 500-550°C; sin embargo, en el estudio de investigación de Trujillo (2017) presentó valores más altos en el biochar proveniente de gallinaza (82.02 %); a una temperatura de 549- 556°C, por lo que se puede indicar que el contenido de cenizas no necesariamente estaría relacionada con el incremento de la temperatura de pirolisis.

En cuanto al contenido de carbono orgánico total, se registró un valor de 72.4% para el presente estudio de investigación, en el trabajo de tesis de Guerra (2015) registró que en el biochar provenientes de la cascara de sachá inchi y cascara de cacao 89.47 % y 47.22% respectivamente; de igual forma, Nieto (2015) presentó 66.2 y 77.7%, lo que el indica que durante la pirolisis aumenta el contenido de C, pero este es menos lábil, por ultimo para Iglesias (2018) los rangos varían de 44.56 y 54.91% lo que confirmaría la capacidad de recalcitrancia del biochar.

De acuerdo a los datos obtenidos el porcentaje de nitrógeno para el presente estudio fue de 1.6%, en el estudio realizado por Guerra (2015) encontró 1.42 % en biochar de cascara de cacao. Además, Iglesias (2018) menciona que el contenido de nitrógeno en biochar de eucalipto fue de 0.31 % y 0.84 % a temperaturas mayores de 500 °C, esto podría deberse al método y a

las condiciones distintas de producción. El nitrógeno es uno de los macronutrientes del biochar, es el más sensible y volátil en el calor y por ende se espera que su contenido sea bajo producido a elevadas temperaturas.

El contenido de fosforo disponible para el presente trabajo de investigación es de 6.8 mg/100, para el trabajo de investigación de Nieto (2015) una de sus muestras de biochar de restos de poda a 300°C (32.29 mg/ kg) presento un valor medio mientras que su muestra de biochar a 500°C (135 mg/ kg) presento un valor elevado para cultivos de hortalizas, en el trabajo de Iglesias (2018) el contenido de fosforo presente en el biochar de corteza de eucalipto en pirolisis lenta es de 0.54%. Las variabilidades de resultados en contenido de fósforo total, pueden ser atribuidas a la calidad de la materia prima y a las diferentes condiciones del proceso productivo. Generalmente niveles significativos de fosforo disponible se han encontrado en los biocarbones producidos de biomásas de origen animal (gallinazas, pollinazas o camas de aves de corral) que la biomasa vegetal según Trujillo (2015).

El resultado obtenido para potasio en el presente estudio es de 1.32 %, en el estudio realizado por Solisor (2020) fueron altos con respecto a los resultados del presente estudio teniendo como resultado 3.645%; sin embargo, Iglesias (2018) para su biochar de corteza en pirolisis lenta obtuvo similar resultado al nuestro que fue de 1.94 %.

Para los valores obtenidos en el presente estudio de investigación se obtuvieron los siguientes valores; para calcio (2.3 %), magnesio (0.6%), sodio (0.11%), todos estos parámetros son mayores a los obtenidos a Solisor (2020) teniendo como resultados calcio (15.39%), magnesio (5.03%), sodio (0.672%) y teniendo similares resultados para el estudio de Iglesias (2018), con respecto a sodio (0.14 %), para el biochar proveniente de la corteza en pirolisis lenta teniendo como resultados similares al calcio (23677ppm = 2.37%).

Con respecto a las características físicas y químicas del suelo podemos indicar que; en la presente investigación, algunos parámetros físicos incrementaron como el pH y el limo, la

arena, arcilla y parámetros hidrodinámicos que no siguieron esta tendencia, en cuanto se refiere a parámetros químicos, el nitrógeno total, fósforo disponible P_2O_5 , potasio intercambiable K_2O , materia orgánica, conductividad eléctrica y capacidad de intercambio catiónico incrementaron conforme incrementó la proporción de biochar.

Por otro lado en el estudio de Huerta (2019), los parámetros físicos y químicos del suelo agrícola obtenidos después de la aplicación al 5%, 10% y 15% de biochar mejoraron la calidad del suelo en comparación al suelo testigo, como es el caso de la CIC y la relación C/N cuyos valores resultaron elevados en comparación al testigo, lo cual se traduce en la mejora de la calidad de los suelos agrícolas y producción de *Solanum tuberosum*.

Además, los resultados obtenidos por Solisor (2020) señala que suelo testigo presenta una baja fertilidad, pobre en elementos, con baja CIC, pH ácido, y después de la cosecha de *Raphanus sativus* L. Para el tratamiento al 15%, se registró para arena 58.9 %; arcilla 22.2% y limo 18%, el pH aumento considerablemente en un 8.862; la materia orgánica se mantuvo baja con 1.402%; para los parámetros químicos se obtuvieron un promedio bajo para nitrógeno con 0.07% pero con un nivel intermedio promedio, para fosforo con 10.714% y potasio con 229.174% ; los parámetros que cumplieron los estándares son el calcio con un promedio alto de 17.914 y potasio con un promedio de 0,714 también alto; sin embargo, para el caso de sodio fue relativamente bajo con un promedio de 0.482 y para la CIC se obtuvo un promedio de 21,388, todo lo antes descrito indica una mediana fertilidad del suelo.

En cuanto se refiere a los parámetros en el suelo tratado con 30% de biochar se obtuvieron los mejores resultados para el análisis físico y químico, a excepción del limo, donde el valor para la arcilla fue de 20.8%, limo 16.2% , los parámetros mejoran en comparación al tratamiento anterior; pues se observó un suelo fuertemente alcalino con un pH de 9,298 en promedio; un nivel intermedio en materia orgánica con un promedio de 2,522; un nivel intermedio para nitrógeno con un promedio de 0,126 pero con un nivel alto para fosforo con 14,68 promedio y

potasio con 325,018 promedio. Los parámetros que cumplen los estándares son los elementos intercambiables de calcio con un promedio alto de 27,724, magnesio con un promedio de 3,528; potasio con un promedio de 1,046 también alto; sin embargo, para el caso de sodio es relativamente bajo con un promedio de 0,738 y para el CIC se obtiene un promedio de 33,032 que es indicativo de una fertilidad alta.

En cuanto se refiere a las variables agronómicas evaluadas en el presente estudio de investigación incrementaron a mayor proporción de biochar (10% y 15%), sobre todo el tratamiento al 15% de biochar.

Por otra parte en el estudio de Huerta (2019), esto se reflejó en el número, la altura, peso y estado fitosanitario de la papa, en cuanto se refiere a la determinación del porcentaje de biochar más adecuado para mejorar la calidad y producción del cultivo de la papa se tomaron los indicadores altura, estado fitosanitario, cantidad y peso de los productos obtenidos, donde el porcentaje del 10% de biochar obtuvo mejores resultados. Finalmente, en los resultados obtenidos por Solisor (2020) en cuanto se refiere a la mejora de las características morfológicas de *Raphanus sativus* L., los valores más altos se encontraron en el tratamiento al 15% de biochar, donde el promedio de altura de la planta fue 12,5 cm y con un error estándar de 0.51, para el número de hojas el promedio obtenido fue de 6.25, el peso promedio de la raíz fue de 10.38g y por último la longitud promedio de la raíz fue de 9.73 cm.

Finalmente podemos indicar que la calidad del biochar está en función a la composición química de la materia prima utilizada, las condiciones de producción del biochar, en cuanto a al mejoramiento del suelo depende de las características físicas y químicas de este, donde a mayor proporción de biochar mayor es el contenido nutricional del suelo y referente a las variables agronómicas evaluadas las mejoras se observan en los tratamientos con mayor proporción de biochar, así mismo el tipo de suelo de cultivo y requerimientos nutricionales según el tipo de cultivo determinaran la mejora en la producción.

CONCLUSIONES

1. El biochar proveniente de la pirolisis de residuos sólidos orgánicos municipales de acuerdo a los análisis de sus características físicas y químicas evaluadas es de buena calidad debido a que los parámetros como nitrógeno total, fósforo disponible y potasio intercambiable, resultaron con valores altos.
2. De acuerdo a los análisis físicos y químicos de suelo antes de la aplicación de biochar, caso del suelo testigo (suelo sin biochar) presento niveles bajos en término de nutrientes, como son: nitrógeno total, fósforo disponible y potasio intercambiable respecto al contenido de materia orgánica, se registra un valor de 2.1%, cuyo valor se encuentra dentro de los valores propuestos por la FAO, y en cuanto a la conductividad eléctrica esta resultó moderadamente salino.

Después de la aplicación del biochar al suelo en sus diferentes proporciones se observó el incremento de los valores donde a mayor proporción de biochar, los valores de los parámetros analizados incrementaron especialmente en nitrógeno total, fósforo disponible y potasio intercambiable, así mismo la materia orgánica, la conductividad eléctrica y la capacidad de intercambio catiónico incrementaron, el pH no sufrió diferencias significativas.

3. A los 20 y 30 días de la siembra la longitud promedio de hojas no guardaron una relación directa en comparación a los 45 días, donde los promedios de: longitud de hojas, biomasa fresca de hojas, raíces y biomasa seca de raíces, los diámetros polares y ecuatoriales; presentaron una relación directa respecto a las proporciones de biochar de los diferentes tratamientos empleados, es decir a mayor proporción de biochar se obtuvieron mayores valores para las variables agronómicas antes mencionadas, el número de hojas no siguió esta tendencia, finalmente al día de la cosecha los promedios de las longitudes de las raíces no presentaron diferencias significativas.

4. Los tratamientos con 10% y 15 % de biochar son los tratamiento más óptimos para mejorar la producción del *Raphanus sativus* L., ya que los promedios de las variables agronómicas evaluadas como: longitud total, biomasa fresca total, diámetro polar y ecuatorial de la raíz han registrado los valores más elevados, en relación a los rabanitos producidos con 5% de biochar y sin biochar.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar la activación biológica y química del biochar antes de su aplicación al suelo agrícola para potenciar sus propiedades físicas, químicas y biológicas, los cuales se traducen en la obtención de mejores resultados en la producción de *Raphanus sativus* L.
- Realizar análisis microbiológico y biológico al suelo agrícola con biochar para evaluar el comportamiento de la microfauna y la mesofauna del suelo y su implicancia en la producción de cultivos hortícolas, sobre todo de *Raphanus sativus* L.
- Hacer más repeticiones y en suelos agrícolas de mayor extensión a campo abierto, con la finalidad de obtener datos más representativos para evaluar el rendimiento del cultivo, así mismo se recomienda hacer análisis de metales pesados al biochar y análisis bromatológico a *Raphanus sativus* L. (bulbo).
- Investigar sobre la recalcitrancia del biochar y su perdurabilidad en el suelo agrícola, después de su adición al suelo; así mismo se sugiere utilizar los subproductos de pirolisis para retroalimentación del proceso de obtención de biochar y así abaratar costos de producción.

BIBLIOGRAFÍA

- Agromeat (2009). Guía técnica para el cultivo del rabanito.
<https://www.agromeat.com/14898/guia-tecnica-para-cultivar-rabanitos>.
- Amonnette, J. (2009). An introduction to biochar: Concept, processes, properties, and applications. Harvesting Clean Energy 9. Special Workshop.
www.harvestcleanenergy.org
- Antal, M., Grönli, M. (2003). The art, science, and technology of charcoal production
- Balbuena C., & Osorio L. (2023). *Evaluación del biochar como medio de captación de carbono en el suelo*. Trabajo de titulación, Universidad EIA Ingeniería Ambiental Envigado 2023. Colombia
- Brady, N., Weil, R (2008). *La naturaleza y propiedades de los suelos*. Upper Saddle River, Nueva Jersey.
- Brick, S. 2010. *Biochar: Assessing the promise and risks to guide U.S. policy*. *Natural Resources Defense Council*. USA. http://www.nrdc.org/energy/files/biochar_paper.pdf
- Bridgewater, A (2004). *Pirólisis rápida de biomasa*. Ciencia termal
- Bourke, J., Manley-Harris, M., Fushimi, C., Dowaki, K., Nunoura, T. y Antal, MJ (2007). *¿Todos los carbones carbonizados tienen la misma estructura química? 2. Un modelo de la estructura química del carbón carbonizado*. Investigación química industrial y de ingeniería.
- Cando, C (2016). *Evaluación de cuatro variedades de Rabanito (Raphanus sativus L.) cultivados en cuatro fases lunares*. Trabajo de titulación, Universidad Guayaquil. Ecuador
- Carrera, J (2015). *Respuesta agronómica del cultivo de Rabanito (Raphanus sativus) a la aplicación de abonos orgánicos*. Tesis de grado de la Universidad Técnica de Cotopaxi. Ecuador
- Cantrell, KB, Hunt, PG, Uchimiya, M., Novak, JM y Ro, KS (2012). Impacto de la temperatura de pirólisis y la fuente del estiércol en las características fisicoquímicas del biochar. *Tecnología de biorecursos*.
- Chan, K y Xu, Z. (2009). *Biochar: Nutrient properties and their enhancement*
- Cheng, CH y Lehmann, J. (2009). *Envejecimiento del carbón negro a lo largo de un gradiente de temperatura*.
- Czernik, S. y Bridgewater, A (2004). *Descripción general de las aplicaciones del aceite de*

pirólisis rápida de biomasa. Energía y combustibles.

- Downie, A., Crosky, A. y Munroe, P. (2009). *Propiedades físicas del biochar. biochar para la gestión ambiental: Ciencia y tecnología.*
- Escalante, A., Pérez, G., Hidalgo C., López, J., Campo, J., Valtierra, E., y Etchevers J. (2016) *Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo.* Terra Latinoamericana. Volumen 34, Mexico
- Faithfull, T. (2005). *Métodos análisis químico agrícola.* Acribia.
- FAO (2011) *El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo.* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, Roma, y Mundi-Prensa, Madrid
- FAO (2013) y “SENA; SENOVA, 2017” *Cartilla sobre el manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas.*
- FAO (2014) *Productos frescos de verduras. Fichas técnicas.* <http://www.fao.org/3/a-au174s.pdf>.
- Gryze, S., Cullen, M., Durschinger, L., Lehmann, J., Bluhm, D., Six, J. y Suddick, E. (2010). *Evaluación de las oportunidades para generar compensaciones de carbono a partir del secuestro de biochar en el suelo.*
- Gheorghe, C., Marculescu, A. Badea, C. Dinca, & T. Apostol. (2009). *Effect of pyrolysis conditions on bio-char production from biomass.* Tenerife Canary Island, Spain.
- Ghodake, G. S., S. K.Shinde, A.A. Kadam, R.C. Saratale, G.D. Saratale, M. Kumar, R.R. Palem, H.A. AL-Shwaiman, A.M. Elgorban, A. Syed y D.Y. Kim. 2021. “Review on biomass feedstocks, pyrolysis mechanism and physicochemical properties of biochar: Stateof-the-art framework to speed up vision of circular bioeconomy”. *Journal of Cleaner Pr oduction*
- Glaser, B. (2004). *Tierras oscuras amazónicas: exploraciones en el espacio y el tiempo .* WI Woods (Ed.).
- Goites, E (2008). *Manual de cultivos para la huerta orgánica familiar.* Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, Argentina
- Gómez, L., Cruz, A., Jiménez, D., Ocampo, A., Parra, S., (2016). *Biochar como enmienda en un Oxisol y su efecto en el crecimiento del maíz.* *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica.*
- Gonzaga, MIS, Mackowiak, CL, Comerford, NB, da Veiga Moline, EF, Shirley, JP y Guimaraes, DV (2017). *Los métodos de pirolisis afectan la composición del biochar*

- derivado de biosólidos, el crecimiento y la nutrición del maíz*. Investigación de suelo y labranza.
- Guerra, P (2015). “*Producción y caracterización de biochar a partir de la biomasa residual de sistemas agroforestales y de agricultura convencional en la Amazonia Peruana*” [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional - Lima
- Hammes, K., Smernick, J., Skjemstad, A., Herzog, U., Vogt, & Schmidt. (2006) *Synthesis and characterization of laboratory-charred grass straw (Oriza sativa) and chesnut wood (Castanea sativa) as reference materials for black carbon quantification*.
- Hasan, M. M., M.G. Rasul, M.M.K. Khan, N. Ashwath y M.I. Jahirul. 2021. “Energy recovery from municipal solid waste using pyrolysis technology: A review on current status and developments”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* McGraw-Hill.
- Houben, D., Evrard, L. y Sonnet, P. (2013). *Mobility, bioavailability and pH-dependent leaching of cadmium, zinc and lead in a contaminated soil amended with biochar*. Earth and Life Institute, Université catholique de Louvain
- Huerta, J. A., (2019). *Influencia del biochar elaborado con residuos sólidos orgánicos sobre la calidad y producción del cultivo de la papa en el centro experimental ecológico de Tuyu Ruri*, [Tesis de grado, Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo]. Repositorio institucional - Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo.
- Iglesias S.F., (2018). “*Aplicación de Biochar a partir de biomasa residual de Eucalipto para evaluar la productividad con maíz en el austro ecuatoriano*” [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional - Lima
- InfoAgro. (S.f) *El cultivo del Rabanito*. <https://www.infoagro.com/hortalizas/Rabanito.htm>
- Kookana, RS (2010). *The role of biochar in modifying the environmental fate, bioavailability, and efficacy of pesticides in soils:*
- Krull, E., Kookana, R., Smernik, R., McBeath, A., Jahanshahi, S., McGowan, J., ... & Lehmann, J. (2010). *Agronomic and environmental implications of biochar sourcing, production and application*. In 3rd International Biochar Conference IBI.
- Laird, DA, Brown, RC, Amonette, JE y Lehmann, J. (2009). *Review of the pyrolysis platform for coproducing bio-oil and biochar*.
- Laird, D., Fleming, P., Wang, B., Horton, R. y Karlen, D. (2010). *Impacto del biochar en la lixiviación de nutrientes de un suelo agrícola del Medio Oeste*. Geoderma.

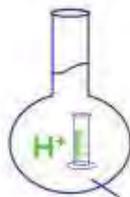
- Lee, J., A.K. Sarmah y E. E. Kwon. 2018. “*Production and formation of biochar*”. *Biochar from Biomass and Waste: Fundamentals and Applications*
- Lehmann, J. (2007). *Bioenergía en negro*. Fronteras en Ecología y Medio Ambiente.
- Lehmann, J. y Joseph, S. (Eds.). (2009). *biochar para la gestión ambiental* (Vol. 1). Londres.
- Lehmann, J. y Joseph, S. (Eds.). (2015). *biochar para la gestión ambiental: ciencia, tecnología e implementación*. Routledge.
- Martínez, M, Torres, M, Guzmán, C y Maestri, D (2006). *Preparación y características del carbón activado a partir de huesos de aceituna y cáscaras de nuez*. Cultivos y productos industriales.
- McHenry, (2009). Producción agrícola de biochar, generación de energía renovable y secuestro de carbono agrícola en Australia Occidental: certeza, incertidumbre y riesgo. Agricultura, Ecosistemas y Medio Ambiente.
- Medio Ambiente, P. G., & del Banco Mundial, G. (2017). Tomando Impulso en la Agricultura Peruana: Oportunidades para aumentar la productividad.
<https://www.bancomundial.org/>
- Mendez, J (2019). Efecto del biochar inoculado con un consorcio comercial microbiano, aplicado en el suelo con *Raphanus sativus* L., interpretado mediante cromatografía. [Tesis pregrado, Universidad Autónoma Chapingo, México]
- Molina, D (2013) Evaluación de la aplicación de biochar en un cultivo de *Physalis peruviana* L (Uchuva). [Tesis pregrado, Universidad Pontificia Javeriana]. Colombia
- Municipalidad Distrital de Machupicchu (2019) Estudio de Valorización de Residuos Sólidos Orgánicos Municipales para la municipalidad distrital de Machupicchu
- Nasevilla, J (2010). *Estudio de las características fisicoquímicas y nutricionales de dos ecotipos de Rabanito (Raphanus sativus L)*. [Tesis pregrado, Universidad Tecnológica Equinoccial]. Repositorio institucional de la Universidad Tecnológica Equinoccial Ecuador.
- Nates, E. (2014). *Evaluación del efecto de biochar en el suelo y la calidad de los frutos en un cultivo de uchuva*. [Tesis de grado, Pontificia Universidad Javeriana]. Repositorio institucional - Pontificia Universidad Javeriana. Colombia
- Nieto, A. (2015) *Fabricación, caracterización y utilización de biochar como sustituto de la turba en la preparación de sustratos de cultivo*. [Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Madrid]. Repositorio institucional - Universidad Politécnica de Madrid.

- Olmo, M. (2016) *Efectos del biochar sobre el suelo, las características de la raíz y la producción vegetal*. [Tesis doctoral, Universidad de Córdoba]. España
- Otero, P (2021) *Agrohuerto, todo sobre huerto*.
<https://www.agrohuerto.com/el-Rabanito-plagas-enfermedades-comunes/>
- Paco, D. (2012). *Evaluación de efectos de varios tipos de biochar en suelo y planta* [Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Barcelona]. Repositorio institucional - Universidad Autónoma de Barcelona.
- Pimienta, A. (2004). *Ácidos húmicos y fulvicos de origen orgánico en el crecimiento de tomate (Lycopersicon esculentum mill.) en invernadero*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. Mexico
- Qiu, S., McComb & Bell. (2008.) *Ratios of C, N and P in soil water direct microbial immobilization–mineralization and N availability in nutrient amended sandy soils in southwestern Australia*. Agric. Ecosyst.
- Rebolledo, A. E., López, G. P., Moreno, C. H., Collado, J. L., Alves, J. C., Pacheco, E. V., & Barra, J. D. E. (2016). Biocarbón (biochar) I: Naturaleza, historia, fabricación y uso en el suelo. *Revista terra latinoamericana*, 34(3), 367-382.
- Robert, M. (2002). *Captura de carbono en los suelos para un mejor manejo de la tierra*. Food & Agriculture Org.
- Rouquerol, F & Sing, K., 1999. *Adsorption by powders and porous solids*. Academic Press.
- Sadaka, S. 2007. 2. *PYROLYSIS*. Center for sustainable enviromental technologies. Department of Agricultural and Biosystems Engineering. Iowa State University
- Sanchez, F. O. (2018). *Evaluación de la eficiencia de un biofertilizante de residuos orgánicos en relación a otras fuentes de fertilización en el desarrollo del cultivo de rabanito (Raphanus sativus L.)* [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión]. Repositorio institucional - Universidad Peruana Unión.
- Schahczenski, J. (2010). *Biocarbon y Agricultura Sostenible* . ATTRA.
- Segura-Chavarría, D. M. (2018). *Control de calidad de biochar para la producción de Terra Preta*. [Informe presentado a la Escuela de Química del Instituto Tecnológico de Costa Rica] Repositorio institucional - Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Sinavimo (2013) *Sistema nacional Argentino de Vigilancia y Monitoreo de plagas*.
<https://www.sinavimo.gob.ar/cultivo/raphanus-sativus>
- Solisor, L. (2021). *Efecto del biochar del eucalipto (Eucalyptus globulus) en la mejora de la calidad de suelo y las características morfológicas del rabanito (Raphanus sativus)*

- [Tesis pregrado, Universidad de Huanuco]. Repositorio institucional Universidad de Huánuco
- Sohi, S., López-Capel, E., Krull, E. y Bol, R. (2009). *Biochar's roles in soil and climate change: A review of research needs*. Informe científico de la tierra y el agua de CSIRO.
- Tito, M. (2005). *Épocas y densidades de plantación de Rabanito (Raphanus sativus L.) para la producción de semilla en el valle bajo de Cochabamba*. [Tesis de grado Universidad Mayor de San Andrés, Bolivia]
- Thies, JE y Rillig, MC (2012). *Características del biochar: propiedades biológicas*. En biochar para la gestión ambiental
- Trujillo E., (2017). “*Producción y caracterización de biochar a partir de residuos orgánicos avícolas*” [Tesis de grado, Universidad Nacional Agraria la Molina]. Repositorio institucional - Lima
- Vera, A. (2012, 20 Mayo). *Propiedades y Beneficios del Rábano*. Venelogia <https://www.venelogia.com/archivos/6442/>
- Verheijen, F., Jeffery, S., Bastos, AC, Van der Velde, M. y Diafas, I. (2010). *Biochar application to soils - A critical scientific review of effects on soil properties. Processes and Functions*
- Vincent, C. (2013) *Comportamiento agronómico de tres variedades de Rabanito (Raphanus sativus), con diferentes densidades de siembra aplicando abono orgánico líquido*. [Tesis de grado Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador]
- Vitorino, B. (1988). *Manual de análisis de suelos. Guía Práctica de Edafología. 3ra. Edición Revisada y Ampliada. Texto Universitario- FAZ- UNSAAC. K'ayra- Cusco- Perú*.
- Vilca k, Rodríguez S, Atarama U, Cueva C, Concha W, Atausupa M, Gosgot W(2022). *Pirólisis: una revisión de conceptos y aplicaciones en la gestión de residuos sólidos* Revista de investigación en agroproducción sustentable
- Yaashikaa, PR, Kumar, PS, Varjani, S. y Saravanan, A. (2020). *A critical review on the biochar production techniques, characterization, stability and applications for circular bioeconomy*. Biotechnology Reports
- Woolf, D., Amonette, JE, Street-Perrott, FA, Lehmann, J. y Joseph, S. (2010). *biochar sostenible para mitigar el cambio climático global*. Comunicaciones de la naturaleza

ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE LABORATORIO PARA BIOCHAR Y SUELO



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N°LQ 0093B-21 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE CARBÓN

SOLICITA :

- Wendy Jackeline Concha Loayza.
- Milagros Elizabeth Tribeño Cutipa.

MUESTRA : Biochar – Carbón Orgánico.

DISTRITO : Machupicchu.

PROVINCIA : Urubamba.

REGIÓN : Cusco

FECHA DE INFORME: 20/02/21

DETERMINACIONES		UNIDAD	
Humedad		%	7.5
MUESTRA SECA:			
pH			9.4
Conductividad Eléctrica		µs/cm	19200
Ceniza		%	22
Carbono Orgánico Total		%	72.4
Nitrógeno Total	N	%	1.6
Fósforo Disponible	P ₂ O ₅	mg/100	6.8
Calcio	Ca	%	2.3
Magnesio	Mg	%	0.6
Cloruros	Cl ⁻	%	0.27
Sodio	Na	%	0.11
Potasio	K	%	1.32

METODO DE ANALISIS: El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.

CONCLUSION: La muestra de carbón tiene alto contenido de sales solubles lo que puede favorecer su utilización en suelos con bajo contenido de sales como son los suelos de la selva.

NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.




MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUÍMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16196



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N° LQ 0166B-21 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO

SOLICITA :

- Wendy Jackeline Concha Loayza.
- Milagros Elizabeth Tribeño Cutipa.

PROYECTO :

“APLICACIÓN DEL BIOCHAR PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE *Raphanus sativus* L. EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL SECTOR TICAPATA, SAN SEBASTIÁN - CUSCO”

MUESTRA :

M_s- Vivero Ticapata – San Sebastián, Cusco.

DISTRITO :

San Sebastián.

PROVINCIA :

Cusco.

DEPARTAMENTO :

Cusco.

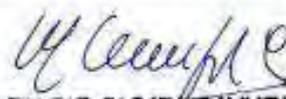
FECHA DE INFORME :

03/07/21

RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M ₀
Humedad	%	8.6
Muestra seca		
Nitrógeno total	%	0.1
Fosforo disponible P ₂ O ₅	mg/100	1.0
Potasio intercambiable K ₂ O	mg/100	23
Materia orgánica	%	2.1
pH		6.7
Conductividad Eléctrica Saturada	µS/cm	3620
Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	meq/100	13
Textura(malla 2 mm)		
Arena	%	38.1
Arcilla	%	2.4
Limo	%	59.5
Clase textural		Franco Limoso

 **MC QUIMICALAB**
MC Cumpa
Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
ADMINISTRACION
CIP. 238338


MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16106



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

DETERMINACIONES	UNIDAD	M ₀
Densidad aparente	g/cc	1.33
Densidad real	g/cc	2.11
Humedad equivalente (He)	%	21
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8
Punto de marchitez permanente (P.M.P.)	%	11.4

MÉTODOS DE ANALISIS:

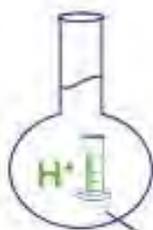
- El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.
- Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados – SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES - INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA - MÉXICO 2006.
- Soil Testing Methods – FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) – ROME 2020.

NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- Las muestras fueron tomadas por el solicitante.




MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16106



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N° LO 0660B-21 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE SUELO

SOLICITA :

- Wendy Jackeline Concha Loayza.
- Milagros Elizabeth Tribeño Cutipa.

TESIS :

: APLICACIÓN DEL BIOCHAR PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE *Raphanus sativus* L. EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL SECTOR TICAPATA, SAN SEBASTIÁN - CUSCO

MUESTRAS :

- M₁- Suelo Agrícola con Biochar al 5%.
- M₂- Suelo Agrícola con Biochar al 10%.
- M₃- Suelo Agrícola con Biochar al 15%.

DISTRITO :

: San Sebastián

PROVINCIA :

: Cusco.

DEPARTAMENTO :

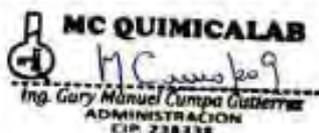
: Cusco.

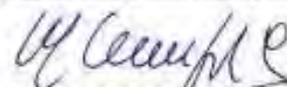
FECHA DE INFORME :

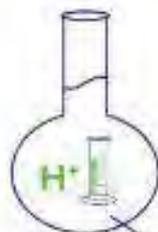
: 18/08/2021

RESULTADOS :

DETERMINACIONES	UNIDAD	M ₁	M ₂	M ₃
Humedad	%	8.4	8.1	7.9
Muestra seca				
Nitrógeno total	%	0.3	0.9	1.25
Fosforo disponible P ₂ O ₅	mg/100	1.3	1.5	2.2
Potasio intercambiable K ₂ O	mg/100	28	31	36
Materia orgánica	%	6	18	25
pH		6.8	7.0	7.3
Conductividad Eléctrica Saturada	μS/cm	6530	9340	12610
Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C)	meq/100	14	18	22
Textura(malla 2 mm)				
Arena	%	36.3	31.7	26.1
Arcilla	%	2.2	2.1	2.1
Limo	%	61.5	66.2	71.8
Clase textural		Franco Limoso	Franco Limoso	Franco Limoso




MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUÍMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16106



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

DETERMINACIONES	UNIDAD	M ₁	M ₂	M ₃
Humedad equivalente (He)	%	21	20	19
Densidad aparente	g/cc	1.24	1.21	1.19
Densidad real	g/cc	2.08	2.01	1.94
Capacidad de campo (C.C.)	%	20.8	19.9	19.1
Punto de marchitez permanente (P.M.P.)	%	11.4	10.9	10.3

METODOS DE ANALISIS:

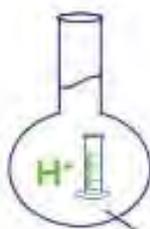
- El trabajo de análisis de suelos se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005, que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.
- Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados - SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES - INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGIA - MÉXICO 2006.
- Soil Testing Methods - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO) - ROME 2020.

NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas.
- Las muestras fueron tomadas por el solicitante.




MARIO CUMPA CAYURI
INGENIERO QUIMICO
REG. COLEGIO DE INGENIEROS N° 16198



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N° LO 0359-23
ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE CARBÓN

SOLICITA :

- Wendy Jackeline Concha Loayza.
- Milagros Elizabeth Tribeño Cutipa.

MUESTRA : Biochar – Carbón Orgánico.

DISTRITO :

PROVINCIA :

REGIÓN :

FECHA DE INFORME: 09/09/23

DETERMINACIONES	UNIDAD	
Cobre (Cu)	ppm	24
Zinc (Zn)	ppm	347
Plomo (Pb)	ppm	7
Cadmio (Cd)	ppm	0
Cromo (Cr)	ppm	66
Arsénico (As)	ppm	0
Mercurio (Hg)	ppm	0
Níquel (Ni)	ppm	11
Bario (Ba)	ppm	73

METODO DE ANALISIS:

- El trabajo de análisis de carbón se ha realizado bajo los métodos establecidos en los Manuales de Análisis Químico-Agrícola, Nigel T. Faithfull, Institute of Rural Studies, University of Wales, UK 2005; que a su vez está basado en el Manual "The Analysis of Agricultural Materials, MAFF/ADAS.
- Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados – SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES - INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA – MÉXICO 2006.
- Fluorescencia de rayos x.

NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.



MC QUIMICALAB

De: Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES
AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE
RUC N° 10465897711 - COVIDUC A4 - SAN SEBASTIÁN Cel: 946887776 - 951562574

INFORME N° IQ 0746-21

ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE AGUA PARA RIEGO

SOLICITA : - WENDY JACKELINNE CONCHA LOAIZA.
- MILAGROS ELIZABETH TRIBEÑO CUTIPA.

PROYECTO : "APLICACIÓN DE BIOCHAR PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD Y PRODUCCIÓN DE *Raphanus Sativus L.* EN CONDICIONES DE INVERNADERO EN EL SECTOR DE TICAPATA, SAN SEBASTIAN – CUSCO – 2021"

MUESTRA : M₁. AGUA DE RIEGO – INVERNADERO TICAPATA.
DISTRITO : SAN SEBASTIAN.
PROVINCIA : CUSCO.
DEPARTAMENTO : CUSCO.
FECHA DE INFORME : 01/07/21

RESULTADOS :

DETERMINACIONES		UNIDAD	M ₁
Dureza	CaCO ₃	ppm	735
Alcalinidad	HCO ₃ ⁻	ppm	276
Acidez	CO ₂	ppm	23
Cloruros	Cl ⁻	ppm	37
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	ppm	335
pH			7.1
Conductividad Eléctrica		µS/cm	1360
RAS			0.3
Clase			C ₃ S ₁

METODO DE ANALISIS: Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales publicado conjuntamente por AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION (WPCF).

CONCLUSION: De acuerdo a las determinaciones realizadas, la muestra de agua se clasifica como C₃S₁ que significa salinización **ALTA** y alcalinización **BAJA**, por consiguiente, se requiere de un manejo técnico para su uso.

NOTA:

- Los resultados son válidos únicamente para la muestra analizada.
- La muestra fue tomada por el solicitante.

COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ
CONSEJO DEPARTAMENTAL CUSCO

Ing. Gury Manuel Cumpa Gutiérrez
INGENIERO QUÍMICO
CIP 238338

ANEXO 2: GALERIA DE FOTOGRAFIAS



Figura 1 Imagen panorámica de la Planta pirolizadora ubicada en Punte Ruinas de Machupicchu pueblo



Figura 2 Planta pirolizadora



Figura 3 imagen panorámica de caseta de almacén de residuos sólidos orgánicos



Figura 4 Caseta de almacén de residuos sólidos orgánicos



Figura 5 horno pirolizador



Figura 6 máquina trituradora



Figura 7 *Trampas monocromáticas*



Figura 8 *Preparación del área experimental*



Figura 9 *Biochar proveniente de residuos sólidos orgánicos municipales*



Figura 10 *Suelos agrícolas del sector de Ticapata*



Figura 11 *Traslado del suelo agrícola al invernadero*



Figura 12 *Pesaje del suelo sin biochar*



Figura 13 Pesaje del biochar



Figura 14 Mezclado de biochar y suelo



Figura 15 y figura 16 Desarrollo y crecimiento al *Raphanus sativus* L.



Figura 17 Medición de la longitud aérea del *Raphanus sativus* L.



Figura 18 Acompañamiento de la coasesora Blga. Maria Luisa Ochoa



Figura 19 y figura 20 Cosecha de *Raphanus sativus* L. (testigo, 5%,10% ,15%)



Figura 21 Preparación para la obtención de biomasa fresca

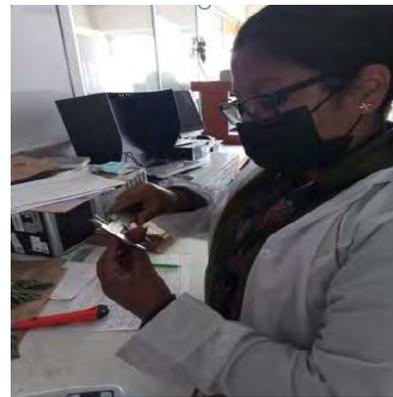


Figura22 Medición del diámetro ecuatorial de *Raphanus sativus* L.

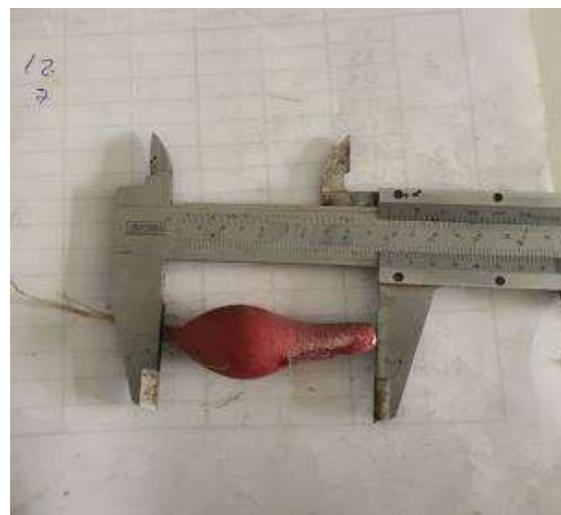


Figura 23 y figura 24 Medición del diámetro polar de *Raphanus sativus* L.



Figura 25 Secado de muestras de *Raphanus sativus L.*

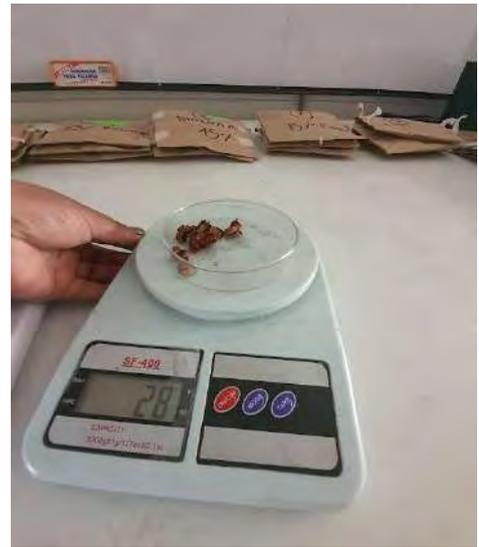


Figura 26. Obtención de biomasa seca de *Raphanus sativus L.*

ANEXO 3: FICHAS DE RECOLECCIÓN Y TRANSPORTE DE BIOCHAR y FICHAS DE REGISTRO DE LA EVALUACIÓN DE CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE *Raphanus sativus L.*

FICHA DE RECOLECCION DEL BIOCHAR	
Nombre del área de recolección: PLANTA DE VALORIZACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS (PLANTA FIROLIZADORA)	Departamento: CUSCO
Razón social: MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE HACHUPICCHU	Dirección: PUENTE RUINAS (PLANTA FIROLIZADORA)
Uso principal: ENTIENDA DE SUELOS DEL VIVERO MUNICIPAL Y DE ÁREAS VERDES DE HACHUPICCHU PUEBLO	
Datos del punto de muestreo	
Coordenadas	
Técnica de muestreo: X: -13.160391°	Y: -72.537163°
Temperatura:	Fecha de producción del biochar: 20/07/2020
Profundidad: —	
Datos de la muestra	
Fecha: 20/02/2021	Descripción de la superficie: —
Hora: 11:50 AM	Precipitación: —
Tipo de muestra: BIOCHAR	Instrumentos usados: GUANTES DE LATEX, BOLSA ^{ZIPLOC} (216 PLOO)
Características: BIOCHAR OSCURO DE GRANDES DIMENSIONES	Nombre completo de quien tomo la muestra: WENDY JACKELINE CONCHA LOAYZA ^{RECOLECTO}
Textura: —	Destino: LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES, AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE - MC QUIRÍ-LAB
Compactación: —	Observaciones:
Humedad: —	
Medidas de conservación: LA MUESTRA FUÉ TRASLADADA EN SACAVILLO DE POLIETILENO	

Adaptado de la Guía para el muestreo de suelos (MINAM 2014)

FICHA DE MUESTREO PARA SUELO INICIAL	
Nombre del área de estudio: INVERNADERO DE LA INSTITUCION EDUCATIVA PARTICULAR MONTEVERDE TICA PATA - SAN SEBASTIAN	Departamento: CUSCO
Razón social: I.I.E.E PARTICULAR MONTEVERDE	Dirección: TICA PATA
Uso principal: PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS HORTÍCOLAS PARA EL COMEDOR DEL CENTRO EDUCATIVO.	
Datos del punto de muestreo	
Coordenadas	
Técnica de muestreo: CUARTEO X: 125458.60 m E	Y: 830267.01 m S
Temperatura: 25°C	
Profundidad: 15 cm	
Datos de la muestra	
Fecha: 03/07/2021	Descripción de la superficie: —
Hora: 12:30 PM	Precipitación: —
Tipo de muestra: SUELO (MUESTRA INICIAL)	Instrumentos usados: PALA, SACHILLOS DE POLIETILENO Y BOLSAS ZIPLOC
Características:	Nombre completo de quien tomo la muestra: WENDY JACKELINE CONCHA LOAYZA / NILAGROS ELIZABETH T. L.
Textura: —	Destino: LABORATORIO DE CIENCIAS NATURALES, AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE - MC QUIRÍ-LAB
Compactación: —	Cantidad de muestra: 1 kg
Humedad: —	Observaciones:
Medidas de conservación: LA MUESTRA FUÉ TRASLADADA EN BOLSA ^{ZIPLOC} (216 PLOO) DE BIDIFERENTE ETIQUETADA	

Adaptado de la Guía para el muestreo de suelos (MINAM 2014)

FICHA DE MUESTREO PARA SUELO FINALES

Nombre del área de estudio: INVERNADERO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA PARTICULAR MONTEVERDE TILA PATA - SAN JERÓNIMO

Razón social: I. I. E. E PARTICULAR MONTEVERDE

Departamento: CUSCO

Dirección: TILA PATA

Uso principal: PRODUCCIÓN DE PRODUCTOS HORTÍCOLAS PARA EL COMEDOR DEL CENTRO EDUCATIVO

Datos del punto de muestreo

Coordenadas

X: 185658.40 m E

Y: 8502672.01 m S

Técnica de muestreo: CUARTEO

Temperatura: 27°C

Profundidad: 15 cm

Datos de la muestra

Fecha: 16/08/2021

Hora: 12:30 PM

Tipo de muestra: SOBLOS (M₀, M₁, M₂ y M₃)

Características:

Textura:

Compactación:

Humedad:

EN LABORATORIO

Descripción de la superficie: —

Precipitación: —

Instrumentos usados: PALAS, SAQUILLOS DE POLIETILENO Y BOLSAS ZIPLOC

Nombre completo de quien tomo la muestra: WENDY JACKELINE CONCHA LAVAY/MILAGROS ELIENETH TRIBICÑO COTI

Destino: LA BORETORIO DE CIENCIAS NATURALES, AGUAS, SUELOS, MINERALES Y MEDIO AMBIENTE - MC QUIMI-LAB

Cantidad de muestra: 1 Kg M₀, 1 Kg M₁, 1 Kg M₂ y 1 Kg M₃

Observaciones: M₀: muestra sin biochar M₂: muestra con 10% de biochar

M₁: " con 5% de biochar

M₃: " " 15% " "

Medidas de conservación: TRAPLADADAS EN BOLSAS ZIPLOC DEBIDA MENTE ETIQUETADAS

Adaptado de la Guía para el muestreo de suelos (MINAM 2014)

ANEXO 4: Prueba de Kruskal Wallis

A. Altura hojas a los 20 días

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Altura_hojas_a_los_20_dias.. 0,00		16	6,41	1,51	6,50	16,87	0,0007
Altura_hojas_a_los_20_dias.. 0,05		16	7,09	1,11	7,00		
Altura_hojas_a_los_20_dias.. 0,10		16	5,56	1,45	5,50		
Altura_hojas_a_los_20_dias.. 0,15		16	5,34	1,11	5,50		

Trat.	Medias	Ranks	
0,15	5,34	21,34	A
0,10	5,56	25,63	A B
0,00	6,41	37,56	B C
0,05	7,09	45,47	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

B. Altura Hojas a los 30 días

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Altura_Hojas_a_los_30_dias.. 0,00		16	10,36	2,41	11,15	3,50	0,3163
Altura_Hojas_a_los_30_dias.. 0,05		16	11,67	1,38	12,00		
Altura_Hojas_a_los_30_dias.. 0,10		16	10,69	3,09	11,75		
Altura_Hojas_a_los_30_dias.. 0,15		16	10,53	1,71	10,75		

C. Altura total (cm)

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Altura_total_(cm) 0,00		16	24,77	3,49	24,25	14,68	0,0021
Altura_total_(cm) 0,05		16	28,48	2,81	28,75		
Altura_total_(cm) 0,10		16	27,46	3,70	27,50		
Altura_total_(cm) 0,15		16	29,55	2,75	30,00		

Trat.	Medias	Ranks	
0,00	24,77	18,59	A
0,10	27,46	31,91	B
0,05	28,48	36,66	B
0,15	29,55	42,84	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

D. Altura hojas (cm)

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Altura_hojas_(cm) 0,00		16	17,04	2,64	17,25	17,03	0,0007
Altura_hojas_(cm) 0,05		16	19,72	1,46	20,00		
Altura_hojas_(cm) 0,10		16	18,66	2,88	18,25		
Altura_hojas_(cm) 0,15		16	21,26	2,78	21,25		

Trat.	Medias	Ranks	
0,00	17,04	19,34	A
0,10	18,66	28,91	A B
0,05	19,72	36,25	B C
0,15	21,26	45,50	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

E. Altura raíz (cm)

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Altura_raiz							

__(cm) 0,00	16	7,75	1,76	8,25	3,22	0,3565
Altura_raiz						
__(cm) 0,05	16	8,76	1,80	8,85		
Altura_raiz						
__(cm) 0,10	16	8,80	1,74	9,35		
Altura_raiz						
__(cm) 0,15	16	8,39	1,77	8,50		

F. N° Hojas

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
N°_Hojas	0,00	16	6,63	1,71	6,50	0,87	0,8213
N°_Hojas	0,05	16	7,19	1,22	7,00		
N°_Hojas	0,10	16	6,81	1,42	7,00		
N°_Hojas	0,15	16	7,06	1,18	7,00		

G. Peso total (gr)

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Peso_total							
_(gr) 0,00	16	8,80	4,02	8,59	41,24	<0,0001	
Peso_total							
_(gr) 0,05	16	12,74	4,15	12,74			
Peso_total							
_(gr) 0,10	16	18,59	8,12	16,65			
Peso_total							
_(gr) 0,15	16	28,96	7,38	25,38			

Trat.	Medias	Ranks	
0,00	8,80	13,88	A
0,05	12,74	24,81	A B
0,10	18,59	37,25	B
0,15	28,96	54,06	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

H. Peso Hojas (gr)

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Peso_Hojas							
_(gr) 0,00	16	5,32	2,44	5,06	31,69	<0,0001	
Peso_Hojas							
_(gr) 0,05	16	7,37	2,01	7,57			
Peso_Hojas							
_(gr) 0,10	16	8,37	3,02	8,05			
Peso_Hojas							
_(gr) 0,15	16	12,50	2,87	11,64			

Trat.	Medias	Ranks	
0,00	5,32	16,66	A
0,05	7,37	28,47	A B
0,10	8,37	31,91	B
0,15	12,50	52,97	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

I. Peso Raiz (gr)

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Peso_Raiz							
_(gr) 0,00	16	3,03	1,91	2,81	44,46	<0,0001	
Peso_Raiz							

_(gr) 0,05	16	5,37	2,44	4,65
<u>Peso_Raiz</u>				
_(gr) 0,10	16	10,22	5,30	8,59
<u>Peso_Raiz</u>				
_(gr) 0,15	16	16,47	4,94	14,30

Trat. Medias Ranks

0,00	3,03	12,94	A
0,05	5,37	23,78	A
0,10	10,22	39,41	B
0,15	16,47	53,88	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

J. Diámetro polar (Cm)

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Diametro_polar_(Cm) 0,00	0,00	16	2,79	1,11	2,75	16,16	0,0010
Diametro_polar_(Cm) 0,05	0,05	16	3,53	0,75	3,55		
Diametro_polar_(Cm) 0,10	0,10	16	3,68	0,95	3,45		
Diametro_polar_(Cm) 0,15	0,15	16	4,21	0,77	4,10		

Trat. Medias Ranks

0,00	2,79	18,78	A
0,05	3,53	32,53	B
0,10	3,68	33,50	B
0,15	4,21	45,19	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

K. Diametro ecuatorial(cm)

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
Diametro_ecuatorial_(cm) 0,00	0,00	16	0,66	0,52	0,65	47,64	<0,0001
Diametro_ecuatorial_(cm) 0,05	0,05	16	1,18	0,54	1,20		
Diametro_ecuatorial_(cm) 0,10	0,10	16	2,32	0,89	2,10		
Diametro_ecuatorial_(cm) 0,15	0,15	16	2,50	0,31	2,45		

Trat. Medias Ranks

0,00	0,66	12,63	A
0,05	1,18	21,69	A
0,10	2,32	42,88	B
0,15	2,50	52,81	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

L. PESO SECO Rabanito (gr)

Variable	Tratamiento	N	Medias	D.E.	Medianas	H	p
PESO_SECO__Rabanito_(Gr) 0,00	0,00	16	0,28	0,17	0,29	39,45	<0,0001
PESO_SECO__Rabanito_(Gr) 0,05	0,05	16	0,36	0,19	0,32		
PESO_SECO__Rabanito_(Gr) 0,10	0,10	16	0,55	0,25	0,51		
PESO_SECO__Rabanito_(Gr) 0,15	0,15	16	1,01	0,26	0,89		

Trat. Medias Ranks

0,00	0,28	17,34	A
0,05	0,36	22,28	A
0,10	0,55	35,22	B
0,15	1,01	55,16	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

ANEXO 5: Base de datos

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO FACULTAD DE CIENCIAS ESCUELA PROFESIONAL DE BIOLOGÍA APLICACIÓN DE BIOCHAR Y MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL SUELO AGRICOLA PARA LA PRODUCCION DE <i>Raphanus sativus</i> L. SECTOR TICAPATA, EN CONDICIONES DE INVERNADERO SAN SEBASTIAN - CUSCO, 2021															
TRATAMIENTO	Cuadrante	% BIOCHAR	Fecha de Siembra: 02 Julio 2021				Fecha de cosecha: 16 AGOSTO 2021								
							Peso FRESCO			Diametro polar (Cm)	Diametro ecuatorial (cm)	Peso seco Rabanito (Gr)	Altura hojas a los 20 días	Altura Hojas a los 30 días	
			Altura total (cm)	Altura hojas (cm)	Altura raiz (cm)	Nº Hojas	Peso total (gr)	Peso Hojas (gr)	Peso Raiz (gr)						
1	A	0 %	25.0	17.5	7.5	8	10.02	6.00	4.02	2.6	1.0	0.23	6	7,5	
2		5 %	29.5	20.3	9.2	7	17.12	9.02	8.10	3.7	1.6	0.65	7,5	12	
3		10 %	33.0	24.0	9.0	9	37.45	15.30	22.15	5.9	2.4	1.18	6,5	10	
4		15 %	33.5	22.0	11.5	9	41.63	16.52	25.11	4.5	2,8	1.42	7	11,5	
5	B	0 %	23.0	13.5	9.9	5	10.12	6.05	4.07	2.9	1.2	0,28	2	4,5	
6		5 %	28.5	20.0	8.5	7	16.40	9.40	7.00	3.7	1.6	0,60	7	9,5	
7		10 %	32.0	22.0	10.0	8	35.12	15.10	20.02	4.5	2.3	0.95	5	8	
8		15 %	30.0	21.0	9.0	9	40,78	17,12	23,66	5.0	2.8	1,25	4	6	
9	A	0 %	22.0	13.5	8.5	6	3.12	2.02	1.10	2.5	0.1	0.07	7	8	
10		5 %	29.0	19.5	9.5	9	13.66	8.25	5.41	3.6	2.1	0.45	6,5	9,5	
11		10 %	27.0	17.5	9.5	7	21.90	8.50	13.40	3.5	2.0	0.70	5,5	7.00	
12		15 %	29.5	21.0	8.5	7	36.08	13.02	23.06	4.7	2.5	1.34	6	10	
13	B	0 %	17.5	11.5	6.0	5	2.33	1.31	1.02	1.2	0.2	0.05	5	7,5	
14		5 %	32.0	21.0	11.0	9	21.15	10.06	11.09	4.3	1.2	0.72	6,5	10,5	
15		10 %	30.5	22.5	8.0	8	26.57	10.45	16.12	4.6	2.3	0.73	6.00	7.00	
16		15 %	30.0	21.5	8.5	7	37.03	13,58	23,45	4.7	2.8	1.38	7,5	13	

17	3	A	0 %	23.5	19.0	4.5	4	4.31	3.25	1.06	2.9	0.1	0.05	9	12
18			5 %	23.5	16.5	7.0	5	4.04	3.02	1.02	1.9	0.2	0.04	8	12,5
19			10 %	32.0	20.4	11.6	5	16.27	8.12	8.15	3.4	1.7	0,48	7	12,5
20			15 %	31.0	21.0	10.0	6	24.14	11.06	13.08	3.7	2.4	0.92	5,5	10,5
21		B	0 %	29.0	19.0	10.0	6	6.00	3.50	2.50	2.6	0.5	0.13	8	12
22			5 %	30.5	19.0	11.5	7	11.00	6.50	4.50	3.0	1.0	0.32	7,5	13
23			10 %	30,5	20.0	10,5	6	15.19	8.09	7.10	2.7	1.9	0,46	5	9,5
24			15 %	25.0	17.0	8.0	5	23,25	11.2	12,05	3.2	2.3	0.85	5	9
25	4	A	0 %	25.0	16.5	8.5	8	7,06	4,99	2,07	2.6	0.9	0.32	7,5	12,5
26			5 %	32.0	20,5	11.5	7	10.15	6.03	4.12	3.5	0.9	0.31	7	13
27			10 %	25.5	15,5	10.0	8	15.17	6.04	9.13	2.8	2.1	0.58	8	14
28			15 %	30.5	21.5	9.0	7	25.09	12.07	13.02	4.2	2.3	0.78	5.00	8,5
29		B	0 %	23.0	17.0	6.0	8	6.45	4.42	2.03	2.3	1.0	0.30	6,5	12.00
30			5 %	25.0	19,5	5,5	7	10.08	6.06	4.02	2.9	1.4	0.29	5	10
31			10 %	24.0	17,5	6,5	9	17.03	9.02	8.01	3.4	2.1	0.54	4,5	6,5
32			15 %	31.0	21.0	10.0	8	31.37	15.15	16.22	5.4	2.4	1.40	5,5	12.00
33	5	A	0 %	28.0	19.5	8.5	7	13.17	8.15	5.02	3.7	1.3	0.34	6,5	13,5
34			5 %	29.7	20.2	9.5	9	15.0	10.15	4.80	4	1	0.16	7,5	13,7
35			10 %	24.4	15.2	9.2	7	14.3	6.12	8.15	2.9	2	0.39	4	12
36			15 %	33.4	23.3	10.1	7	25.7	11.15	14.52	4	2.6	0.78	6	11,5
37		B	0 %	23.3	16.2	7.1	8	7.2	4.03	3.12	2.8	0.8	0.32	6	11
38			5 %	24.6	18.5	6.1	6	8.9	5.41	3.52	3.5	0.4	0.15	6	13
39			10 %	28.0	21.5	6.5	7	12.3	6.25	6.01	2.5	1.7	0.28	7,5	15
40			15 %	26.3	16.2	10.1	5	18.3	9.23	9.04	3.5	2.3	0.72	4,5	10
41	6	A	0 %	31	21.5	9.5	9	13.55	8.33	5.22	4.9	0.2	0.46	6,5	11,3
42			5 %	26.5	19.5	7	7	12.35	8.32	4.03	3.1	1.2	0.25	5,5	10
43			10 %	24.5	17	7,5	7	13.28	7.24	6.04	2.8	1.6	0.41	6	12,5
44			15 %	25.3	18.1	7.2	8	25.08	11.06	14.02	3,3	2,7	0.76	3,5	10

45	B	0 %	22.7	15.5	7.2	8	7.14	5.12	2.02	3.3	0.5	0.14	7,5	9,5	
46		5 %	28.3	20	8,3	6	13.37	6.23	7.14	2.8	1.9	0.53	6,5	12	
47		10 %	23	16,5	6,5	5	12,05	7.03	5,02	2.8	1.6	0.36	4	11,5	
48		15 %	26.3	18.2	8.1	8	24.72	10,65	14.07	4	2,3	0.84	6,5	12	
49	7	A	0 %	26,5	18,5	8	9	11.16	7.12	4.04	3.9	0.1	0.26	6	11,5
50			5 %	31	21,5	9,5	9	13,12	7,03	6,09	4,5	1,5	0,32	7	11,5
51			10 %	29	19	10	6	17,03	6,12	10,91	4	2,1	0,54	5	12
52			15 %	27,5	23,5	5	7	21.00	8	13	4,3	2,2	0,86	4,5	11
53	B	0 %	29.3	20	9,3	6	16.64	9.41	7.23	2.7	1.7	0.70	6,5	12,5	
54		5 %	32	22	10	7	17,20	9,14	8,06	5	1,6	0,46	9	12	
55		10 %	30	19,5	10,5	7	19,06	8	11	4	2,3	0,64	5,5	14	
56		15 %	30,5	25	6	7	23	9	14	5,8	1,8	1,09	5,5	12	
57	8	A	0 %	21	16.5	4.5	5	10,25	3.03	0	0	0	0,37	6,5	10,5
58			5 %	28,5	20,5	8	7	12,16	8,10	4,06	3,9	0,8	0,25	9	13
59			10 %	25,5	16	9,5	4	17.15	8.12	9.03	3.9	1.9	0.38	7	14
60			15 %	33	26	7	6	37.12	17.03	20.09	3,8	3,1	1.04	5,5	11,5
61		B	0 %	26,5	17,5	9	4	12.37	8.34	4.03	3,8	1	0.41	6	10
62			5 %	25	17	8	6	8,14	5,12	3,02	3,2	0,5	0,21	8	11,5
63			10 %	20,5	14,5	6	6	7.68	4.45	3.23	2.5	1.3	0.22	2,5	5,5
64			15 %	30	23.8	6.2	7	29.20	14,15	15,05	3,3	2,7	0.78	4	10